

## 도로기상요인의 영향에 따른 고속도로 교통상황 유형 분류

### Classification of Freeway Traffic Condition by the Impacts of Road Weather Factors

심상우\* · 최기주\*\*

Shim, Sangwoo · Choi, Keechoo

#### Abstract

The purpose of this paper is to classify the traffic condition in freeway by the impacts of road weather. The factor analysis showed that weather factors, which are considered as influential, are identified as weather condition (rain or clear), temperature and sight distance with RWIS and VDS data in Seohae bridge used. The result of ANOVA shows that weather is divided into clear and rainy; temperature into below and equal or above 5°C; and sight distance into below or equal or above 10km. Based on those factors, the freeway traffic condition has been classified as five different types. The flow-speed model for each traffic conditions was proposed, which was not significant due to the lack of sample data. Although not sufficient, the methodology to categorize traffic situation model presented in this paper may shed light on the idea for the future and can be used for proper traffic management for each weather condition.

Keywords : traffic condition classification, weather factor, speed variation, RWIS

#### 요 지

본 연구는 다양한 기상 요인의 영향 정도에 따른 속도 변화를 분석하여 고속도로의 교통상황 분류를 목적으로 하였다. 서해대교의 RWIS와 VDS 자료를 활용하여 요인분석한 결과 교통상황에 영향을 주는 기상요인은 날씨, 온도, 시정거리로 나타났다. 각 요인에 따른 교통상황을 분류하기 위해 요인별로 분산분석을 실시한 결과 날씨는 맑음과 강우, 온도는 5°C 이하와 이상, 시정거리는 강우 시에만 10km 이하와 이상으로 분류되어 총 5개 유형의 교통상황으로 분류되었다. 보다 원활한 교통 관리를 위해 각 상황별로 교통량-속도 모형을 추정하였으나 분석자료의 부족으로 설명력은 다소 낮게 나타났다. 그러나 장기 간의 자료를 본 연구에서 제시된 분석과정에 입각하여 분석할 경우 기상요인에 따른 유형별 교통관리가 가능할 것으로 기대 된다.

핵심용어 : 기상요인, 속도 변화, 요인분석, 분산분석, 유형 분류

#### 1. 서 론

최근 20년 동안 국내에서는 새로운 도로를 건설하는 것 대신에 지능형교통체계(ITS: Intelligent Transport Systems)를 도입하여 기존 시스템의 효율을 극대화하고 있다. 이를 위해 교통자료를 수집·가공하여 신호 운영 및 교통정보를 제공하고 있다.

그러나 교통상황은 해당 지점의 교통량이나 속도와 같은 요인 외에 기상 및 도로환경 등과 같은 다양한 요인에 영향을 받고 있다. 실제로 첨단교통 모델 도시 중 하나인 제주 시에서 ITS를 구축한 초기에 강설로 통행이 불가능함에도 불구하고 소용원활이라는 교통정보를 제공하여 문제가 된 적이 있다. 이러한 문제점을 보완하기 위해 제주시, 서해대교, 신공항고속도로 등에 도로기상정보시스템(RWIS: Road Weather Information System)를 도입하여 운영하고 있으나

이러한 시스템들을 활용하여 기상요인에 따른 교통상황 변화에 관한 연구는 많이 이루어지지 않았다. 기 수행된 연구 역시 날씨(강우, 강설)에 대한 교통특성 변화를 다루고 있다. 그러나 동일한 날씨라도 온도, 습도, 시정거리 등이 다르기 때문에 이에 따라 다른 교통특성을 보일 수 있다. 예를 들어 낮은 기온에서 비가 올 경우는 결빙 등의 우려로 인해 상온에서 비가 오는 경우에 비해 속도가 떨어질 수 있기 때문이다.

따라서 본 연구의 목적은 RWIS를 통해 수집되는 다양한 기상 요인의 영향 정도에 따른 속도변화를 분석하여 고속도로의 교통상황을 분류하는 것이다. 이를 위해 서해대교의 2008년 1월~6월의 RWIS와 VDS(Vehicle Detection System) 자료를 활용하였고, 교통량과 같은 교통특성의 영향을 최소화하기 위해 교통량이 유사한 자료를 분석대상으로 하였다.

\*정회원 · 교신저자 · 아주대학교 일반대학원 교통시스템공학과 박사과정 (E-mail : artmania@ajou.ac.kr)

\*\*정회원 · 아주대학교 교통시스템공학과 교수 (E-mail : keechoo@ajou.ac.kr)

## 2. 기존 연구사례

### 2.1 국내 연구

최정순 등(1999)는 고속도로 교통류를 설명하는 기본적인 관계식이 비가 올 때 어떻게 변화하는지를 상세히 분석하고자 올림픽대로 교통관리시스템의 영상검지기를 통해 수집된 현장조사자료를 이용하여 속도-교통류율, 교통류율-점유율, 용량, 임계속도, 임계점유율 등의 변화를 분석하였다. 그 결과 비가 올 경우 서비스 교통류율이 약 200pcphpl 정도 감소하는 것으로 나타났으며, 관측된 서비스 교통류율은 맑은 날에 비해 약 10~20% 정도 감소하는 것으로 나타났다. 또한 비가 올 경우 전체 차로의 소통능력은 맑은 날에 비해 감소하지만 기상변화에 따른 차로별 임계속도와 임계점유율은 큰 변화가 없는 것으로 나타났다.

오주삼 등(2002)는 신공항고속도로의 방화대교와 영종대교에 설치된 VDS와 RWIS 자료를 분석한 결과 방화대교의 경우 눈과 비가 올 경우 주간에는 속도가 7%, 2% 감소하고, 야간에는 5%, 6%가 감소하는 것으로 나타났으며, 영종대교는 주간에는 기상상황에 따른 속도가 변화가 없는 반면 야간에는 3%, 7%가 감소하는 것으로 나타났다.

오주삼 등(2002)는 안개에 의한 교통흐름 특성 변화를 분석하고자 일한국도 48호선을 대상으로 도로조건이 동일하고 교통량이 유사한 경우에 대해서 안개에 따른 교통속도를 분석하였다. 그 결과 자유 교통류 상태에서 안개로 인해 1차로 상행(서울 방면) 3.33%, 하행(김포 방면) 16.69%, 2차로 상행 4.8%, 하행은 6.21%가 감소하는 것으로 나타났다.

최필순(2003)은 맑은 날과 비오는 날에 따른 5분 교통량의 평균속도의 차이를 알아본 결과 10mm/h 이하의 강우 상황과 맑은 날씨의 속도 분포가 유의한 차이를 보이는 것으로 나타났으며, 기상 외에 도로 경사도 및 단속카메라 등의 시설의 영향도 받는 것으로 나타났다.

김성환과 이청원(2008)은 기존의 강우 상황에서의 교통류율 변화 분석에서 한 단계 더 나아가 강우량에 따른 고속도로의 최대교통류율과 속도 변화를 분석하였다. 분석 결과 강우량이 증가할수록 최대교통류율 및 자유류 속도는 감소하며, 감소율은 해외 사례에 비해 다소 크게 나타났다.

### 2.2 국외 연구

해외의 경우 기상과 통행행태에 대한 연구가 다수 이루어졌는데, Hanbali와 Kuemmel(1993)은 눈보라가 치는 동안 교통량이 7~56%가 감소한다고 하였으며, Ibrahim과 Hall(1994)는 캐나다에서 고속도로 주행시에 열악한 기상상태가 주는 영향에 대해 연구했는데, 이들은 맑음/강우, 맑음/강설, 강우/강설 등 3가지 경우를 나누어 분석한 결과 자유속도가 적은 강우 시 2km/h, 적은 강설시 3km/h, 폭우 시 5~10km/h, 폭설 시 38~50km/h 감소한다는 것을 알아냈다.

Brilon et al.(1996)은 독일에서 기상상태와 명암이 속도에 주는 영향에 대해 15개 부분으로 나누어 심도 있게 연구했는데 그 결과 운전속도는 어두울 때 5km/h 정도 감소하고, 젖은 2차로, 3차로 도로는 각각 9.5km/h, 12km/h 정도 속도를 감소시킨다고 결론짓고 있으며, May(1998)는 고속도로에서의 용량 감소에 대해 연구하였는데 눈, 비, 안개 및 다

른 열악한 기상상태가 용량의 감소를 가져온다고 하였다.

Lamm et al.(1999)는 건조한 상태와 물기 있는 상태에서의 고속도로 커브길의 속도차이에 관해 24회 실험했지만 비에 의한 가시도의 영향이 없을 때 수집한 자료라서 큰 차이를 발견하지 못했으나, Hassan과 Barker(1999)는 스코트랜드 지역의 경우 기상 악화의 경우 교통량이 5% 이하로 감소하나 도로 위에 눈이 있을 경우 10~15% 정도 감소한다는 연구를 발표하였다.

Micheal Kyte et al.(2000)은 환경적 요인이 자유속도에 미치는 영향에 대해 연구하였는데, 이들은 일반적인 기준 도로환경(강수량이 없을 때, 건조한 도로, 0.37km/h보다 높은 가시도, 16km/h이하의 풍속)을 제시하여 평균속도(109km/h)를 구하고 이 속도가 4가지 요소(가시도, 도로표면상태, 강수량, 풍속)에 의해 어떻게 변화하는가를 실험하였고 그 결과 가시도가 0.16km/h 이하로 떨어질 때 속도가 14km/h이상 감소하고 강수 시에는 평균속도가 82~85km/h일 때 비해 24~27km/h가 감소하는 것으로 나타났다. 또한 도로가 눈이나 얼음에 의해 결빙되어 있을 때에는 평균속도보다 21~23km/h 감소하고 풍속이 48km/h이상일 때 평균속도가 9km/h 감소한다고 제시하고 있다.

Knapp and Smithson(2000)은 Iowa주 고속도로 평균 교통량을 분석한 결과 눈보라 시 16~47% 정도 감소한다는 결과를 제시하였고, Keay and Simmonds(2005)는 강우 시 호주 멜버른 고속도로 교통량이 1.4~2.1% 감소한다는 연구를 발표하였다.

Manish 등(2005)는 미국 Twin Cities 주변에 위치한 3개의 고속도로 자료를 기반으로 분석한 결과 강우량에 따라 용량 및 속도는 각각 1~17%, 1~7% 정도 감소하는 것으로 나타났다.

Edward 등(2006)는 동경 외곽 Tokyo Metro politan Expressway(MEX) 5개 지점을 선정하여 우천 시 고속도로 용량과 속도 변화를 분석한 결과 강우량에 따라 용량은 1~14%, 속도는 4.5~8.2% 정도 감소하는 것으로 나타났다.

Robert 등(2006)는 Baltimore, Twin Cities, Seattle 세 지점을 대상으로 강우량에 따른 속도 변화를 분석한 결과 자유류 상태에서는 2~9%, 용량 시에는 8~14% 정도 속도가 감소하는 것으로 나타났다.

### 2.3 국내의 연구 검토 결과

기상과 관련된 국내의 연구를 검토해 본 결과 대부분 강우 또는 강설과 같은 날씨에 따른 교통특성 변화를 대상으로 하였으며, 일부는 강우량 및 안개, 가시도와 같은 기상요인을 대상으로 연구하였다. 대부분의 연구 결과 강우 시 속도가 맑은 날에 비해 감소하며, 강우량이 많을수록 감소폭은 증가하였고, 안개 등과 가시도에 영향을 받을 경우 역시 속도가 감소하는 것으로 나타났다.

그러나 기존 연구는 강우·강설과 같은 날씨 또는 안개, 도로표면상태 등과 같은 특정 상황에 대해서 분석하였다. 하지만 동일한 날씨더라도 다른 요인에 의해 그 유형이 다를 수 있다. 즉, 기존 연구를 보더라도 동일한 강우상황이라도 온도, 가시도, 강우량 등에 따라 속도 변화가 다른 형태를 보이기 때문이다. 따라서 이러한 결과를 볼 때 기상상황에

따라 보다 원활하게 교통관리를 하기 위해서는 다양한 기상 요인에 따른 교통상황에 대한 유형을 분류할 필요가 있다.

### 3. RWIS 및 VDS 자료 분석

#### 3.1 기초 자료 분석

기상요인의 영향에 따른 고속도로의 교통상황을 분류하기 위해서는 동일한 지점에서 기상과 교통자료를 수집하여야 정확도가 증대되므로 본 연구에서는 RWIS와 VDS가 같이 구축된 서해대교를 대상으로 자료를 수집하였다. 자료수집 기간은 2008년 1월 1일~6월 2일(153일)이며, RWIS와 VDS 수집주기는 표 1과 같다. 표 1과 같이 두 자료의 수집 주기가 서로 다르기 때문에 본 연구에서는 두 자료를 동일 주기로 매칭하기 위해서 VDS 자료를 10분 주기로 다시 집계하여 분석하였다.

표 1. RWIS 및 VDS 수집자료 개요

구분	수집 주기	수집 자료	활용 자료수
RWIS	10분	온도, 습도, 풍향, 풍속, 강우량, 강우검지, 시정거리, 일조량	264
VDS	5분	교통량, 속도, 점유율	528

수집기간 중 날씨는 맑음(140일)과 강우(13일) 2가지로 나타났다. 강우는 모두 0.5mm 이하의 약한 강우상황이었다. 수집기간을 볼 때 맑은 날씨가 대다수인데 비해 강우상황이 상당히 적으므로 2개 상황을 단순비교하기에는 무리가 있다. 따라서 본 연구에서는 강우일자를 기준으로 전주와 차주의 동일한 요일과 시간에 수집된 44시간의 VDS 속도와 교통량의 평균을 산출하여 강우상황의 교통량과 속도를 비교분석하였으며, 각 날씨에 따른 교통량과 속도는 표 2와 같다.

표 2. 날씨에 따른 주·야간 교통량 및 속도

날씨	구분	교통량(대/시)		속도(km/h)	
		주간	야간	주간	야간
맑음	평균	1,487	527	86.8	83.5
	표준편차	391.1	430.5	16.6	12.4
강우	평균	1,373	550	78.7	59.3
	표준편차	462.0	290.1	16.6	6.3

주) 주간은 7시~19시, 야간은 20시~익일 6시임

표 2를 보면 주·야간의 교통량은 날씨에 따라 큰 차이를 보이지 않으나 속도는 맑은 경우가 강우상황보다 높게 나타났다. 그러나 주간의 경우 맑은 날씨의 속도에 비해 강우상황의 속도가 9.4% 낮게 나타났는데 비해 야간에는 28.9%나 낮게 나타났는데 이는 어둠과 강우상황으로 인해 충분한 시거가 확보되지 못하여 발생한 것으로 판단된다.

강우상황 중 하나인 2008년 1월 22일 13~17시에 RWIS를 통해 수집된 기상자료는 강우량 0.5mm, 온도 1.0°C, 시정거리 5km 이하이며, 그림 1은 1월 22일 13~17시 강우상황과 동일한 요일·시간 맑은 날씨의 속도와 비교한 것으로, 두 날씨의 속도 차이는 3~7km/h로 나타났다.

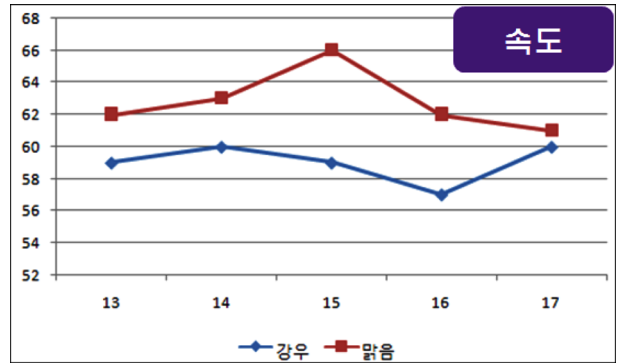


그림 1. 2008년 1월 22일 13~17시 날씨별 속도 비교

기상요인 이외에 속도에 영향을 주는 가장 큰 요인은 교통량이므로 교통량에 대하여 동일하게 비교한 결과 그림 2와 같이 강우 상황에 교통량이 오히려 더 적게 나타났으며, 이러한 결과를 볼 때 교통량은 속도 차이에 큰 영향을 주지 않은 것으로 판단된다.

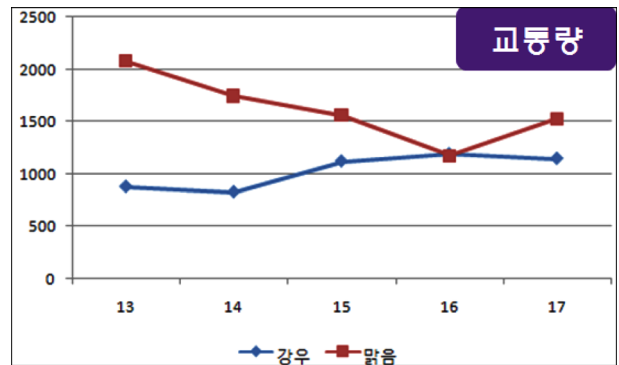


그림 2. 2008년 1월 22일 13~17시 날씨별 교통량 비교

반면 2008년 4월 23일 오전 3~6시에 RWIS를 통해 수집된 기상자료는 강우량 0.5mm, 온도 10°C 이상, 시정거리 5km 이상이며, 그림 3은 4월 23일 오전 3~6시의 강우상황과 동일한 요일 및 시간, 맑은 날씨의 속도와 비교한 것으로 두 날씨의 속도는 30km/h의 큰 차이를 보였다. 교통량을 비교한 결과 4월 23일 역시 차이가 200대시 이하로 큰 차이를 보이지 않았다.

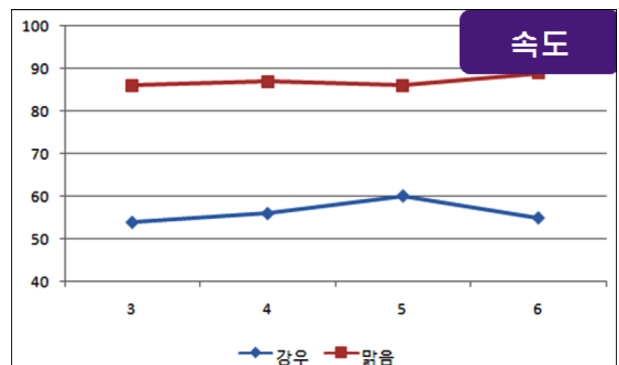


그림 3. 2008년 4월 23일 3~6시 날씨별 속도 비교

1월 22일과 4월 23일의 두 기상상황을 보면 동일하게 0.5mm의 약한 강우 상황이었으나 속도의 감소폭이 다르게

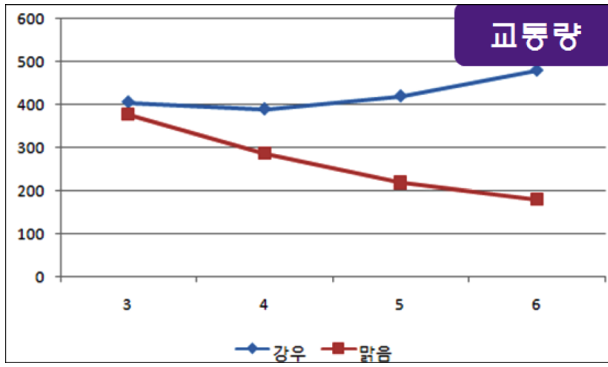


그림 4. 2008년 4월 23일 3~6시 날씨별 교통량 비교

나타나고 있는데 이는 기존 연구결과와 차이를 보이고 있다. 그러나 RWIS를 통해 수집된 기상자료를 보면 1월 22일은 1.0°C 낮은 온도에 시정거리가 5km 이하인 반면 4월 23일은 10°C 이상의 따뜻한 날씨에 시정거리 역시 5km 이상이었다. 이는 날씨 이외에 다른 기상 요인도 교통 상황에 영향을 줄 수 있는 것을 보여주는 한 예이다. 따라서 본 연구에서는 이러한 기상요인에 따라 고속도로의 교통상황을 분류하기 위해 통계분석을 실시하였다.

### 3.2 요인 및 상관 분석

전술한 바와 같이 교통 상황을 나타내는 변수인 속도에 영향을 주는 기상요인은 날씨 외에 다른 요인들이 있으나 이를 모두 고려하기는 힘들다. 왜냐하면 모든 기상요인을 고려할 경우 분류되는 집단의 수는 2개가 되어 불필요한 연산을 추가적으로 수행해야 되기 때문이다. 따라서 본 연구에

서는 다양한 기상요인에 대하여 요인분석을 실시하여 교통 상황에 영향을 주는 주요인을 찾아 전술한 문제를 해결하고자 하였다. 왜냐하면 요인분석은 변수 간의 상관행렬로부터 공통요인을 끄집어내어 그 공통요인을 이용해서 변수 간의 상관관계를 설명하고, 공통요인과의 관계에 의해서 각 변수의 성질을 간결한 형태로 기술하여 변수나 관측대상의 분류를 위해 이용되는 통계적 분석기법의 하나이기 때문이다.

요인분석 시 추출방법은 주성분분석과 공통요인분석 2가지가 있는데 공통요인분석의 경우는 측정변수간의 상관을 설명하는 공통요인을 추출하는데 비해 주성분분석은 측정변수의 선형결합을 통해 주성분을 추출하므로 본 연구에서는 주성분분석을 이용하여 분석하였다. 또한 기상요인에 대한 수집 자료들의 범위가 동일한 것이 아니기 때문에 수집 자료를 그대로 요인분석을 수행할 경우 변수들에 대한 공분산 및 고유치가 제대로 산출되지 않으므로 표준화 값을 이용하여 분석을 수행하였다. 요인분석의 대상 변수는 온도, 습도, 풍향, 풍속, 강우량, 적설량, 시정거리, 기상, 낮밤(시간)이며, 낮은 오전 6시부터 오후 8시까지로 설정하였다.

기상 요인의 상관분석 결과는 표 3과 같이 나타났다. 이를 보면 각 기상요인간의 상관관계는 거의 없는 것으로 나타났다. 습도와 시정거리는 음의 상관관계가 크게 나타났으며, 강우량 역시 기상과 약간의 상관관계가 있는 것으로 나타났다. 이는 습도가 증가할수록 시정거리가 줄어들고, 비가 와야 강우량이 검지되기 때문에 나타난 결과로 판단된다.

개별 기상요인에 대하여 상관분석을 실시한 결과 대부분 상관관계가 없는 것으로 나타나 요인분석을 통해 변수를 축소하였다. 일반적으로 요인은 고유치 1 이상인 경우만 추출하며,

표 3. 기상요인별 상관계수

	온도	습도	풍향	풍속	강우량	적설량	시정거리	기상	낮밤
온도	1.000	-0.047	-0.240	-0.107	0.030	-0.012	0.001	0.066	0.090
습도	-0.047	1.000	-0.136	-0.227	0.093	0.031	-0.655	0.182	-0.170
풍향	-0.240	-0.136	1.000	0.437	-0.078	-0.031	0.246	-0.125	-0.032
풍속	-0.107	-0.227	0.437	1.000	-0.016	-0.010	0.326	-0.008	0.105
강우량	0.030	0.093	-0.078	-0.016	1.000	0.182	-0.100	0.424	-0.006
적설량	-0.012	0.031	-0.031	-0.010	0.182	1.000	-0.039	0.111	0.015
시정거리	0.001	-0.655	0.246	0.326	-0.100	-0.039	1.000	-0.170	0.004
기상	0.066	0.182	-0.125	-0.008	0.424	0.111	-0.170	1.000	-0.031
낮밤	0.090	-0.170	-0.032	0.105	-0.006	0.015	0.004	-0.031	1.000

표 4. 기상요인별 공분산 및 고유치

성분	초기 고유값			추출 제곱합 적재값			최전 제곱합 적재값		
	전체	% 분산	% 누적	전체	% 분산	% 누적	전체	% 분산	% 누적
1	2.186	24.290	24.290	2.186	24.290	24.290	1.793	19.925	19.925
2	1.416	15.738	40.027	1.416	15.738	40.027	1.587	17.636	37.561
3	1.310	14.551	54.578	1.310	14.551	54.578	1.531	17.016	54.578
4	0.979	10.881	65.458						
5	0.937	10.415	75.874						
6	0.782	8.686	84.560						
7	0.576	6.403	90.962						
8	0.501	5.568	96.530						
9	0.312	3.470	100.000						

이 때 해당 변수가 설명하는 분산의 양이 클수록 주요한 변수가 되는데 본 연구에서는 표 4와 같이 3개의 성분이 고유치가 1보다 크므로 3개의 성분으로 기상 요인들을 분류하였다.

선정된 3개 성분에 대하여 보다 변수의 특성을 잘 나타내기 위해 베리맥스법에 의해 5차례 반복계산 후에 산출된 결과는 표 5와 같다. 분류된 3개의 성분 중 1성분은 습도와 시정거리, 2성분은 온도, 풍향 및 풍속, 3성분은 강우량과 기상으로 나타났다.

표 5. 베리맥스 회전에 의한 주성분분석 결과

	성분		
	1	2	3
온도	0.308	-0.648	0.080
습도	-0.850	-0.077	0.130
풍향	0.142	0.793	-0.063
풍속	0.402	0.632	0.126
강우량	-0.029	-0.029	0.810
적설량	0.024	0.018	0.471
시정거리	0.783	0.272	-0.125
기상	-0.134	-0.074	0.769
낮밤	0.401	-0.231	0.066

1성분인 습도와 시정거리의 경우 두 변인의 상관관계가 높게 나타나 둘 중 하나만 적용해야 하는데 시정거리가 운전자에게 영향을 주는 요인으로 이해하기 쉬우므로 시정거리를 주요 변수로 선정하였다. 2성분의 경우는 풍향이 가장 큰 비중을 가지고 있으나 이에 대한 인식을 운전자가 거의 하지 못하므로 온도와 풍속 중 비중이 더 높은 온도를 주요 변수로 선정하였으며, 3성분은 강우량이 더 큰 비중이 있으나 기상에 따른 결과이므로 기상을 주요 변수로 선정하였다. 따라서 본 연구에서는 기상, 온도와 시정거리가 주요 변수로 선정하여 교통상황을 분류하였다.

### 3.3 기상요인에 따른 교통상황 분류

기존 연구 검토 및 요인 분석 등을 통해 설정된 기상요인은 날씨, 온도, 시정거리이며, 이들 요인에 대한 수준은 표 6과 같으며, 전체 집단의 수는 24개이다.

표 6. 기상요인별 교통상황 구분

구분	형태	내용
날씨	명목형	2수준(맑음, 강우)
온도	순서형	4수준(0°C 미만, 0~5°C, 5~10°C, 10°C 이상)
시정거리	순서형	3수준(5km 미만, 5~10km, 10km 이상)

본 연구에서는 분산분석을 이용하여 각 집단의 수를 합·분류하였으나 모든 집단을 분석한 것이 아닌 각 요인인 날씨, 온도, 시정거리에 대해 각각 분석하였다. 왜냐하면 각 요인별로 차이가 없다면 해당 요인에 따라 분류된 집단들 역시 모두 동일한 집단으로 묶이기 때문이다. 그리고 기상상황 외에 속도에 영향을 줄 수 있는 요일 및 월별 특성을 반영할 수 있는 자료로 분석하였으며, 해당 자료의 수는 528개이다.

표 7. 속도에 대한 분산분석 결과

요인	제공합	자유도	평균제공	F	P-value
집단간	24,382	1	24,382	15.91	0.0001
오차	131,812	526	1,533		
합계	156,194	527			

표 8. 교통량에 대한 분산분석 결과

요인	제공합	자유도	평균제공	F	P-value
집단간	607,108	1	607,108	0.29	0.59
오차	179,041,543	526	2,081,878		
합계	179,648,652	527			

날씨에 대한 분산분석 결과 표 7, 8과 같이 교통량은 동일하게 나타났는데 비해 속도는 차이가 있는 것으로 나타나 기존 연구와 동일한 결과가 나타났다. 서해대교의 경우 표 9와 같이 강우 시 맑은날에 비해 15.9% 정도 속도가 감소하며, 주간(9.4%)에 비해 야간(28.9%)에 더 많이 감소하는 것으로 나타났다.

표 9. 날씨에 따른 주·야간 속도

(단위: km/h)

주간		야간		평균	
맑음	강우	맑음	강우	맑음	강우
86.8	78.7	83.5	59.3	72.1	85.7

날씨별 온도에 대한 분산분석 결과 표 10~12와 같이 맑음과 강우상황 모두 온도에 따라 속도가 다른 것으로 나타났다. 온도가 낮을수록 속도 차이가 작게 나타났다. 이는 낮은 온도로 인한 결빙 등을 우려해 다소 낮은 속도로 운행하여 발생한 것으로 판단된다.

표 10. 맑은 경우 온도에 따른 분산분석 결과

요인	제공합	자유도	평균제공	F	P-value
집단간	21,483	3	7,160.9	5.69	0.002
오차	50,342	260	1,258.6		
합계	71,825	263			

표 11. 강우 시 온도에 따른 분산분석 결과

요인	제공합	자유도	평균제공	F	P-value
집단간	43,503	3	14,501	35.2	0.000
오차	16,484	260	412		
합계	59,987	263			

표 12. 날씨별 온도에 대한 t-test 결과

날씨	집단 1	집단 2	평균차이	유의확률	동일여부
강우	0°C 미만	0~5°C	-3.4	0.87	○
	0~5°C	6~10°C	-12.2	0.03	×
	6~10°C	10°C 이상	-9.32	0.432	○
맑음	0°C 미만	0~5°C	-0.4	1.00	○
	0~5°C	6~10°C	-25.9	0.00	×
	6~10°C	10°C 이상	-6.6	0.303	○

날씨별 온도에 따른 집단의 수준수를 증가시키며 t-test를 수행한 결과 5°C 이하인 경우와 6°C 이상인 경우가 동일한 집단으로 나타나 5°C를 기준으로 2개의 집단으로 분류되었다. 반면 시정거리에 대하여 분산분석을 수행한 결과 표 13, 14와 같이 맑은 날에는 동일하게 나타났는데 비해 강우 시에는 시정거리에 따라 속도의 차이가 있는 것으로 나타났다.

표 13. 맑고 5°C 이상일 때 시정거리에 따른 분산분석 결과

요인	제공합	자유도	평균제공	F	P-value
집단간	577	2	288.6	0.78	0.47
오차	47,540	129	368.5		
합계	48,117	131			

표 14. 강우 시 5°C 이상인 시정거리에 따른 분산분석 결과

요인	제공합	자유도	평균제공	F	P-value
집단간	6,648	2	3,324.2	3.56	0.04
오차	120,347	129	932.9		
합계	126,995	131			

강우 시 5°C 이상일 때 시정거리 3개의 집단에 대하여 t-test를 통해 비교한 결과 10km 이하와 10km 이상인 경우에 속도 차이가 발생하여 분류되었으며, 10km 이상인 경우는 차이가 없어 동일한 집단으로 합류되었다.

표 15. 강우 · 5°C 이상일 때 시정거리에 대한 t-test 결과

날씨	온도	집단 1	집단 2	평균차이	유의확률	동일여부
강우	5°C 이상	5km 이하	6~10km	-13.2	0.02	×
		6~10km	10km 이상	-3.9	0.24	○

표 16. 기상요인에 따른 교통상황 분류

날씨	온도	시정거리	기상상황	평균속도 (km/h)
맑음	5°C 이상		1	93.2
	5°C 이하		2	60.2
강우	5°C 이상	10km 이하	3	72.2
	5°C 이상	10km 이상	4	83.2
	5°C 이하		5	60.7

날씨, 온도, 시정거리에 대한 분산분석 결과를 기반으로 교통상황을 분류하면 표 16과 같이 5개 그룹으로 구분할 수 있다.

서해대교의 RWIS 및 VDS 자료를 기반으로 할 때 서해대교는 5개의 기상에 따른 교통상황으로 분류되며, 각 상황에 대하여 비교하면 일반적으로 비가 오면 맑은 경우에 비해 속도가 낮게 나타났다. 또한 서해대교가 교량이라는 특징 때문에 온도가 낮을 경우에는 결빙을 우려하여 기상과 관계 없이 낮은 속도로 운행하는 것으로 나타났으며, 시정거리는 일반적인 인식과 동일하게 시정거리가 짧을수록 속도가 더 낮게 나타났다.

### 3.4 교통상황별 교통량-속도 모형 추정

기상요인에 따른 교통상황을 분류하였으나 속도는 기상요

인 외에도 교통변수인 교통량의 영향을 많이 받는다. 따라서 기상상황을 고려한 교통관리를 위해서는 기상요인 외에 교통량과 같은 교통변수도 동시에 고려해야 하므로 각 교통상황에 대한 교통량-속도 모형을 추정하였다.

연속류에서의 교통류 모형인 교통량-속도-밀도 관계는 식 (1)과 같다.

$$q = u \times k \quad (1)$$

여기서,  $q$ : 평균교통류율(대/시)

$u$ : 공간평균속도(km/h)

$k$ : 평균밀도(대/km)

식 (1)을 보면 연속류에서 교통량과 속도의 관계는 밀도를 계수로 하는 선형식이다. 즉, 밀도를 하나의 상수로 가정한다면 교통량과 속도는 선형식으로 표현할 수 있으므로 두 변수 사이에 상관관계가 클 경우에는 선형회귀식으로 교통량-속도 모형을 추정할 수 있으며, 식 (2)와 같다.

$$S = b_0 + b_1 \cdot Q \quad (2)$$

여기서,  $S$ : 속도(km/h)

$Q$ : 교통량(대/시)

$b_0, b_1$ : 상수 및 회귀계수

각 교통상황에서의 교통량-속도의 상관계수 및 회귀모형은 표 14와 같다.

표 17. 기상상황별 교통량-속도 회귀모형

기상상황	회귀계수		t 통계량 P-value	F 통계량 P-value	R <sup>2</sup>
	상수	교통량			
1	상수	83.0	0.00	0.00	0.35
	교통량	0.009	0.00		
2	상수	55.52	0.00	0.16	0.23
	교통량	0.005	0.16		
3	상수	54.23	0.00	0.00	0.73
	교통량	0.019	0.00		
4	상수	99.50	0.01	0.29	0.15
	교통량	-0.021	0.29		
5	상수	50.05	0.01	0.63	0.03
	교통량	0.007	0.63		

서해대교의 VDS 자료를 통해 소통상황을 분석한 결과 모든 차량이 50km/h 이상으로 운행하여 안정류 상태로 나타났으며, 그 결과 교통량의 영향이 매우 낮게 나타났다. 특히 낮은 온도에서 비가 온 기상상황 5의 경우 교통량 범위는 800~1200대/시로 나타났으나 속도 범위는 59~62km/h로 거의 변화가 없어 관계 모형 역시 거의 상수에 가까운 형태로 나타났다. 반면 기상상황 3인 경우는 모형의 설명력이 73%로 높게 나타났다. 하지만 이러한 모형은 서해대교 6개월 자료를 기반으로 한 것이기 때문에 더 많은 이력자료를 분석을 통해 모형을 추정할 필요가 있다. 또한 본 연구에서는

분석 자료의 한계로 교통량-속도 모형을 밀도를 하나의 상수로 가정하여 선형식으로 추정하였으나 본래 그 관계가 비선형이므로 혼잡 및 비혼잡에 따라 다른 모형을 구축하여야 할 필요가 있다.

#### 4. 결론 및 향후연구과제

본 연구는 다양한 기상 요인의 영향 정도에 따른 속도 변화를 분석하여 고속도로의 교통상황을 분류하는 것을 목적으로 하였다. 이를 위해 서해대교의 2008년 1월~6월의 RWIS와 VDS 자료를 활용하여 요인 및 분산분석을 수행하였다.

날씨에 대한 분석 결과 교통량은 동일하게 나타났는데 비해 속도는 차이가 있는 것으로 나타났으며, 강우 시 맑은날에 비해 15.9% 정도 속도가 감소하며, 주간(9.4%)에 비해 야간(28.9%)에 더 많이 감소하는 것으로 나타났다. 또한 온도, 습도, 풍속, 시정거리 등의 기상요인에 대한 요인분석 결과 3개의 주요 성분(습도와 시정거리, 온도 및 풍속, 기상)으로 분류되었다. 분류된 요인을 대상으로 분산분석을 수행한 결과 날씨에 따라 맑음과 강우, 온도는 5°C를 기준으로 분류되었으며, 시정거리는 강우 시에만 10km를 기준으로 분류되었다. 각 분류 기준에 의해 교통상황은 5가지 상황으로 분류되었으며, 이는 동일한 날씨, 교통량이 있더라도 다른 기상 요인에 따라 교통상황이 변할 수 있다는 것을 의미한다. 또한 보다 원활한 교통관리를 위해 각 상황에 대한 교통량-속도 모형을 추정하였으나 설명력이 대부분 낮게 나타났다. 이는 본래 비선형관계인 교통량-속도 모형을 분석 자료수의 부족으로 선형관계로 추정하여 나타난 결과로 판단된다. 하지만 본 연구의 결과를 활용할 경우 기상상황에 따른 유형별 교통관리가 가능할 것으로 기대된다.

반면 본 연구에서는 기상요인에 따른 고속도로의 교통상황을 분류하였으나 서해대교의 6개월 정도의 자료를 기반으로 분석하였기 때문에 전체 고속도로를 대표한다고 할 수 없다. 특히 강설의 경우는 자료가 수집되지 않아 분류 요인으로 검토할 수 없었다. 따라서 보다 정확한 교통상황 분류 및 모형을 제시하기 위해서는 도로기상자료가 수집되는 다양한 지역에서 장기간 수집된 더 많은 이력자료 분석을 통해 모형을 추정할 필요가 있으며, 보다 정확한 분석을 위해 교통량-속도 모형을 혼잡 및 비혼잡에 따라 다른 모형을 구축하여야 할 필요가 있다.

#### 감사의 글

본 연구는 국토해양부 교통체계효율화사업(2008) “교통정보 혁신을 위한 제공·관리·평가기술 개발” 과제의 지원으로 수행되었음(T007E10100 08-08E020100230).

#### 참고문헌

- 김성환, 이청원(2008) 강우량에 따른 고속도로 최대교통류 및 속도 변화 분석, 제58회 대한교통학회 학술발표회, 대한교통학회, pp. 500-509.
- 오주삼, 최대순, 조윤희, 정진혁(2002) 안개로 인한 속도변화 특성에 관한 연구-일반국도를 중심으로-, 대한토목학회논문집, 대한토목학회, 제22권 제4D호, pp. 677-685.
- 최정순, 손봉수, 최재성(1999) 기상조건에 따른 도시고속도로 교통류 변화 분석, 대한교통학회지, 대한교통학회, 제17권 제1호, pp. 29-40.
- 최필순(2003) WIS를 활용한 가변속도규제방안, 석사학위논문, 한밭대학교.
- Brlon, W. and Ponzlet, M. (1996) Variability of speed-flow relationships on german autobahns, *Transportation Research Record* 1555, Transportation Research Board, pp. 91-98.
- Edward Chung, Osamu Ohtani, Hiroshi Warita, Masao Kuwahara and Hiroshi Morita (2006) Does Weather Affect Highway Capacity?
- Hanbali, R.M. and Kuemmel, D.A. (1993) Traffic volume reductions due to winter storm conditions, *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board* 1387, pp. 159-164.
- Hassan, Y. A. and Barker, J. J. (1999) The impact of unseasonable or extreme weather on traffic activity within lothian region, *Transport Geography*, Vol 7, No. 3, pp. 209-213.
- Ibrahim, A. T. and Hall, F. L. (1994) Effect of adverse weather conditions on speed-occupancy relationships, *Transportation Research Board* 1457, pp. 184-191.
- Ju Sam Oh, Yong Un Shim, and Yoon Ho Cho (2002) Effect of weather conditions to traffic flow on freeway, *KSCE Journal of Civil Engineering*, 대한토목학회, Vol. 6, No. 4, pp. 413-420.
- Knapp K. K. and Smithson L. D. (2000) Winter storm event volume impact analysis using multiple-source archived monitoring data, *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board* 1700, pp. 10-16.
- Keay, K. and Simmonds, I. (2005) The association of rainfall and other weather variables with road traffic volume in Melbourne, *Accident Analysis and Prevention*, Vol. 37, pp. 109-124.
- Lamm, R., Choueiri, E. M., and Mailaender, T. (1990) Comparison of operation speed on dry and wet pavements of two-lane rural highway, *Transportation Research Record* 1280, pp. 199-207.
- Manish Agarwal, Thomas H. Maze, and Reginald Souleyrette (2005) Impacts of weather on urban freeway traffic flow characteristics and facility capacity, *Proceedings of the 2005 Mid-Continent Transportation Research Symposium*.
- May, A. D. (1998) *Capacity and Level of Service for Freeway Systems*, 3rd Interim Report, Phase C-Tasks C1 through C10.
- Michael Kyte, Zaher Khatib, Patrick Shannon, and Fred Kitchener (2001) *Effect of Environmental Factors on Free-Flow Speed*, pp. 108.
- Robert Hranac, Emily Sterzin, Daniel Krechmer, Hesham Rakha and Mohamadreza Farzsn 도 (2006) *Empirical Studies on Traffic Flow in Inclement Weather*, FHWA-HOP-07-03.

(접수일: 2009.6.1/심사일: 2009.6.26/심사완료일: 2009.10.30)