

## 강설에 따른 고속도로 용량 변화에 관한 연구

손영태<sup>1</sup> · 이상화<sup>1\*</sup> · 임지희<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 명지대학교 교통공학과, <sup>2</sup> 한양대학교 도시대학원

### A Study on Highway Capacity Variation According to Snowfall Intensity

SON, Young Tae<sup>1</sup> · LEE, Sang Hwa<sup>1\*</sup> · IM, Ji Hee<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Department of Transportation Engineering, Myongji University, Gyeonggi 449-728, Korea

<sup>2</sup> Graduate School of Urban Studies, Hanyang University, Seoul 133-791, Korea

#### Abstract

Under the consumption of bad weather situation affects traffic flows, the study scope is focused on highway capacity and speed variations among other highway traffic flow characteristic changes according to snowfall density. Thus, this study carried out through the data collection and statistical analysis by focusing on capacity and speed changes. Traffic volume, speed and density were selected as factors to explain the property change of a traffic flow for analysis, and 7 basic sections such as 3 highways in Gyeonggi-do and 4 highways near the meteorological observatory were selected as survey points for data collection. Snowfall levels were classified into 3 steps(Light, Medium, Heavy Snow) to analyze the capacity change by snowfall levels. As a result of analysis, the change of capacity depending on snowfall levels decreased 13.2% in case of light snow compared to a good weather, 18.6% in case of medium snow and 32.0% in case of heavy snow, so the capacity reduction rate increased as the snowfall level increased. The worsening weather appeared to have a very big possibility to act as a factor to reduce the operational efficiency of a road, so a road design and operation method considering this should be presented in the future.

본 연구는 악천후가 교통 흐름에 영향을 미칠 것이라는 전제하에 악천후 상황 중 강설에 따른 고속도로 교통류 특성 변화 중에서도 용량 및 속도 변화에 초점을 맞춰 분석하기 위한 것으로, 자료수집과 통계분석을 통해 연구를 진행하였다. 교통류 특성 변화를 설명하는 요소로 교통량, 속도, 밀도를 선정하여 분석하였으며, 자료수집 대상은 경기도권내 3개 기상관측소 인근 4개 고속도로 7개 기본구간을 조사지점으로 선정하였다. 강설수준별 용량 변화를 분석하기 위해 강설수준을 3단계(Light, Medium, Heavy Snow)로 분류하였다. 분석결과 강설수준에 따른 용량 변화를 살펴보면, 기후 양호시 대비 Light Snow(약한 눈)인 경우 13.2% 감소하였으며, Medium Snow(보통 눈)은 18.6%, Heavy Snow(강한 눈)은 32.0% 감소하는 것으로 나타나 강설수준이 높아질수록 용량 감소율은 증가하는 것으로 분석되었다. 기상악화는 도로의 운영 효율을 저하시키는 요인으로 작용할 가능성이 매우 큰 것으로 나타났으며, 이에 따라 향후 이를 고려한 도로 설계 및 운영 방법이 제시되어야 한다.

#### Keywords

bad weather, expressway, road capacity, snowfall, traffic Flow  
악천후, 고속도로, 용량, 강설, 교통류

\* : Corresponding Author  
mystery-jh@hanmail.net, Phone: +82-31-338-6504, Fax: +82-31-336-2885

Received 26 March 2013, Accepted 16 December 2013

# I. 서론

## 1. 연구의 배경 및 목적

도로의 차량흐름을 일컫는 교통류(Traffic Flow)의 특성을 이해하고, 분석하고, 해석하기 위해서는 교통량(Flow), 속도(Speed), 밀도(Density) 혹은 점유율(Occupancy) 등의 교통류 특성 변수들 간의 관계를 파악할 필요가 있다. 그러한 이유로 교통을 연구하는 학자들에 의해 이들 관계가 끊임 없이 연구되어져 왔으며, 결과적으로 도로의 설계 및 운영의 기초 자료 및 편람 작성에 활용되고 있다.

기존의 교통관련 연구들은 이상적인 기상조건에서 수집되거나 관측된 데이터를 이용하여 분석한 것이 대다수로 기상변화에 따른 특성은 고려되지 않은 결과라 할 수 있다. 그러나 최근 전세계적으로 이상기후로 인한 도시마비 현상이 빈번히 발생하고 있으며, 악천후에 따른 교통마비는 도시마비의 한 축을 담당하고 있을 만큼 매우 중요한 요소라 할 수 있다. 특히 고속도로와 같은 대규모 도로시설물의 경우 악천후에 따른 용량저하 현상을 고려하지 않음에 따른 2차적인 문제가 지속적으로 발생하여 더 큰 문제를 야기시킬 수 있는 소지가 있다.

이처럼 기상악화는 도로의 운영 효율을 저하시키는 요소로 작용하는데, 특히 강설은 차량의 차두간격과 속도 등에 영향을 미치게 되어 기존에 도로가 제공할 수 있는 용량을 감소시키는 요인으로 작용하게 된다.

그러나 강설에 의한 혼잡상황이 발생한다고 해도 이를 판단할 수 있는 척도가 존재하지 않고, 기상조건 악화에 따른 개선대안을 반영하고자 해도 적용 기준이 현재까지는 존재하지 않으며, 관련 연구 또한 미흡한 실정이다.

따라서 다양한 기상조건에 의한 연속류의 특성을 분석한 자료를 활용하여 설계하고 운영하는 것이 고속·고용량의 고속도로가 제 기능을 발휘하도록 하는 합리적인 방법이라 판단된다. 이러한 관점에서 기존에 제시된 기준과 결과를 실용적인 목적으로 고속도로 설계나 운영전략을 수립하는데 적용하기 위해서는 기상조건에 따른 고속도로 교통류 변화에 대한 분석결과를 검토할 필요가 있다고 판단하여 본 연구에서는 고속도로 기본구간을 대상으로 강설시 교통류 특성을 분석하고, 용량 및 서비스 수준 등을 분석함에 있어 기상상태(강설시)를 반영할 수 있는 적용기준을 제시하는데 연구의 목적을 가지고 있다.

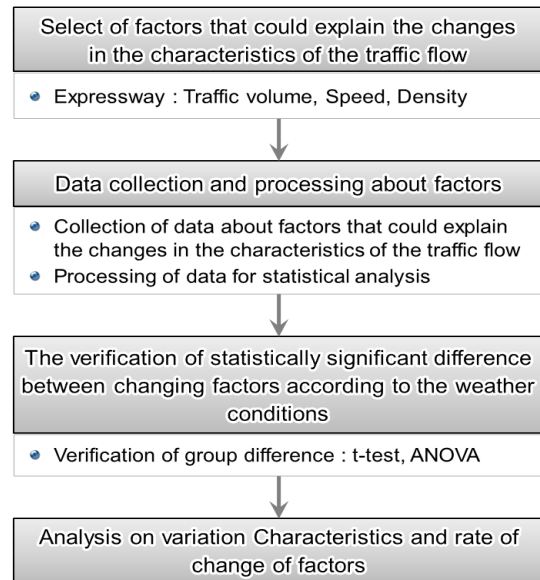


Figure 1. Study process

## 2. 연구의 내용 및 방법

본 논문의 구성은 2장에서 강설량에 따른 교통류 특성에 관한 기존 연구사례를 수집하여 검토하였으며, 3장에서는 분석을 위한 조사방법을 수립하고, 4장에서는 양호시와 강설시, 강설시는 강설수준 별로 나누어 강설시 변화 특성을 도출한다. 이에 따라 강설시 교통류 특성 변화율 및 보정계수를 산출하고 용량 및 서비스 수준 분석시 적용할 수 있는 방안을 강구한다.

# II. 기존 문헌 고찰

## 1. 국내·외 도로용량편람 검토

KHCM(2001)에서는 양호한 노면상태 및 기후조건을 기본 전제로 용량을 산정하는 방법을 제시하고 있어 이상적인 기상상태만을 고려하고 있고, 기상조건과 관련된 구체적인 기준 등의 언급을 하고 있지 않다.

개정판 USHCM(2010)에서는 강설 범주를 기존 두 개 범주에서 none(0), trace(0.05이하), light(0.06-0.1), moderate(0.11-0.5), heavy(0.5이상)의 다섯 개의 범주로 세분화하였으며, 이를 바탕으로 강설 강도에 따른 용량 감소율을 다음과 같이 제시하였다.

**Table 1. Capacity reduction according to the intensity of snowfall**

intensity of snowfall	capacity reduction(%)	
	average(%)	range(%)
less than 0.05 in/h	4.29	3.44-5.51
0.05-0.10 in/h	8.66	5.48-11.53
0.10-0.5 in/h	11.04	7.45-13.35
greater than 0.5 in/h	22.43	19.53-27.82

**2. 강설량과 교통류의 관계에 관한 연구**

관련 연구는 국내 및 국외로 나누어 살펴볼 수 있는데, 먼저 국외 연구를 살펴보면, Manish et al.(2005)은 기상과 차량 이동성 간의 관계를 규명하고, 용량과 속도의 감소 정도를 분석하기 위해 Twin Cities 주변의 도시고속도로를 대상으로 비, 눈, 도로 노면 등의 변화에 따라 도로 용량 변화를 정량화하고자 강설량에 따라 5개 카테고리 분류하여 강설량에 따라 속도와 용량에 얼마나 많은 영향을 미치는지에 대해 분석하였다.

Thomas et al.(2005)은 날씨 변화가 교통흐름에 영향을 미친다고 판단하여 날씨 변화에 따른 도로 용량, 속도, 안전 등의 관계를 분석하였다. 날씨가 악화될수록(기후 양호 → 강우 → 강설) 운전자들의 차간거리가 증가하여 총 통과 교통량이 감소하며, 강설 및 강우 강도가 증가할수록 용량이 감소됨을 알 수 있었다.

Manjunathan et al.(2005)은 각종 기상상태(바람, 눈, 비 등)에 따른 고속도로 교통량과 속도의 변화를 연구하기 위해 Oregon 주와 Montana 주에 위치하고 있는 9개의 고속도로를 대상으로 강설시 통행속도 감소를 통계적으로 분석한 결과 통계적으로 유의미한 차이가 있는 것

으로 분석되어 강설시에 통행속도가 감소하는 경향이 있는 것으로 나타났다.

Robert et al.(2006)은 고속도로에 설치된 교통량 검지기 센서를 이용하여 기초자료를 수집하고, 기상상황에 따른 운전자 행태를 관찰하기 위해 영상 카메라를 이용하여 교통류의 이동상황에 대한 영상 자료를 수집하였다. 분석결과 강설량에 따라 자유류 속도, 용량 상태에서의 속도, 용량은 영향을 받는 것으로 나타났다.

Sandeep et al.(2007)은 기상상태와 교통량의 상호관계를 분석하기 위해 다중회귀분석을 실시하였다. 분석결과 강설량 및 기온이 밀접한 관련이 있는 것으로 나타났다. 또한 통근통행이 많은 도로보다 여가통행이 많은 도로의 경우 교통량은 강설량이 증가하고 기온이 낮아질수록 감소하였으며, 그 양은 적설량이 1cm 증가할 때마다 1-2%정도의 교통량이 감소하는 것으로 나타났다.

국내 연구는 Choi J. S.(1999), Oh J. S.(2002), Park C. S.(2004), Baek S. G.(2010)을 중심으로 살펴보았다. Choi J. S.(1999)은 강우시 교통류 변화 특성을 교통류율, 속도, 점유율, 서비스교통류율 측면에서 검토하였다. 분석 결과 속도-교통류율 관계, 임계점 점유율은 강우시에도 큰 차이가 없는 것으로 나타났으며, 교통류율-점유율 관계식의 기울기는 강우시에 감소하는 것으로 나타났다. 또한 고속도로의 서비스교통류율은 약 16% 정도 감소하는 것으로 나타나 HCM(1998)에서 제시한 결과와 유사한 결과가 도출되었다.

Oh J. S.(2002)은 고속도로를 대상으로 기상상태가 교통류에 미치는 영향을 분석하였다. 인천공항고속도로 데이터를 활용하여 비혼잡상태에서의 속도-교통량, 교통량-점유율의 관계를 회귀분석을 통해 도출하였다. 분석

**Table 2. Previous research summary**

Author (year of publication)	research results	
	reduction in speed	reduction in capacity
Manish et al (2005)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• snowfall(≤0.05) : 3-5%</li> <li>• snowfall(0.06-0.1) : 5-12%</li> <li>• snowfall(0.11-0.5) : 7-13%</li> <li>• snowfall(&gt;0.5) : 19-28%</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• snowfall(≤0.05) : 3-5%</li> <li>• snowfall(0.06-0.1) : 7-9%</li> <li>• snowfall(0.11-0.5) : 8-10%</li> <li>• snowfall(&gt;0.5) : 11-15%</li> </ul>
Thomas et al (2005)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• snowfall(≤0.05) : 2%</li> <li>• snowfall(0.06-0.1) : 7%</li> <li>• snowfall(0.11-0.5) : 14%</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• snowfall(≤0.05) : 2%</li> <li>• snowfall(0.06-0.1) : 4%</li> <li>• snowfall(0.11-0.5) : 6%</li> </ul>
Manjunathan et al (2005)	4-6%	-
Robert et al (2006)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• snowfall(&lt;0.01) : 5-16%</li> <li>• snowfall(~0.3) : 5-19%</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• snowfall(~0.3) : 12-20%</li> </ul>
Sandeep et al (2007)	-	1-2%

결과 자유속도는 강우시 2%, 강설시 7% 감소하는 것으로 나타났으며, 낮시간대에 비해 밤시간대 기상상태의 영향이 더 큰 것으로 분석되었다.

Park C. S.(2004)는 AADT 추정시 기상상태의 영향을 반영하기 위한 날씨보정계수를 산출하고자 적설량과 교통량의 관계를 회귀분석을 통해 분석하고 도출된 회귀계수값을 활용하여 날씨보정계수를 제시하였다. 분석 결과 강설량이 1cm씩 증가할 때마다 교통량은 평균 4.1~5.1% 감소하는 것으로 나타나 적설량에 따른 날씨보정계수를 산출하는 것이 의미가 있음을 강조하였다.

Baek S. G.(2010)은 강설이 통행특성에 미치는 영향을 분석한 연구로, 1998-2008년 기상자료와 TCS 통행량 자료를 이용하여 강설일과 비강설일의 차종별 일통행량, 평균통행거리를 비교·분석하였으며, 강설수준별 통행량 관계를 제시하였다. 분석 결과 비강설일 대비 강설일의 통행량 및 통행거리는 감소하였으며, 강설수준에 따른 통행량의 차이가 존재하나 그 정도는 크지 않은 것으로 나타났다.

국내외 문헌을 살펴본 결과 국내 연구는 강설이 교통류에 미치는 영향 분석에 대한 초기 단계로 국외 연구에 비해 부분적인 연구만 진행되었을 뿐 일반화된 연구결과를 제시하지는 못하고 있어 종합적인 관점에서 적용할 수 있는 기준 정립이 필요한 시점이라 판단된다.

### III. 자료수집 및 분석방법 설정

#### 1. 영향요인 선정 및 조사방법 수립

강설시 고속도로 기본구간 용량 변화에 영향을 미치는 요소를 선정하기 위해 먼저 고속도로 기본구간 서비스수준의 효과척도를 검토하고 이를 토대로 효과척도에

영향을 주는 요인을 도출하고 분석을 위한 자료 조사방법을 수립한다.

#### 1) 고속도로 용량 변화를 설명할 수 있는 요인 선정

고속도로를 운행하는 운전자에게 고속도로가 제공하는 서비스의 수준을 나타내는데 있어 기본적으로 밀도와 교통량 대 용량비와 같은 효과척도를 사용한다. 그러나 밀도는 수집하기 어려운 단점이 있어 실제로 잘 사용되지 않기 때문에 밀도를 주요 효과척도로 사용하기에는 어려움이 있다. 주로 교통량과 교통량 대 용량비(V/C)를 활용하여 개략적인 밀도를 환산하여 계산하고 자유속도에 따른 서비스 수준을 산정하게 된다. 따라서 고속도로 기본구간 용량 변화를 설명할 수 있는 요인은 교통류 특성의 3대 요소인 교통량, 속도, 밀도로 선정한다.

#### 2) 조사방법 수립

교통류 특성의 3대 요소인 교통량, 속도, 밀도를 강설에 따른 고속도로 기본구간 교통류 특성 변화를 설명하는 요인으로 선정하고, 교통 특성간의 관계를 파악할 수 있는 속도-교통량 곡선과 교통량-밀도(점유율) 곡선을 활용하여 속도 및 용량 변화를 분석한다.

조사지점은 '고속도로 대형난사고 종합대응체계 연구'에서 고속도로 집중 폭설 지역을 참고하여 기상대를 선정하고 기상대 인근 10km 이내에 위치하고 있는 고속도로 기본구간으로 한정하였다. 교통류 특성 파악이 용이하기 위해서는 일정 수준 이상의 교통량이 확보될 필요가 있으므로 고속도로 선정 범위를 수도권으로 한정하도록 한다. 따라서 지역적 특색 및 강설특징, 연교통량 등을 고려하여 최종적으로 경기도권내 3개 기상관측소 인근 4개 고속도로 7개 기본구간을 조사지점으로 선정하였다.

**Table 3. Overview of the survey point**

Express Name	Survey point	No. of lanes	Traffic Volume (2010)	Weather station (distance)
Gyeongin line	Gajwa IC - West Incheon IC	6	176,167	Incheon (5.5km)
	West Incheon IC - Bupyeong IC	8	131,230	Incheon (8.4km)
Yeongdong line	East Suwon IC - Singal JC	8	135,223	Suwon (8.6km)
	Hobup JC - Icheon IC	8	133,811	Icheon (3.6km)
	Icheon IC- Yoeju service area	8	120,375	Icheon (6.3km)
Gyeongbu line	Singal JC - Pangyo IC	8	185,792	Suwon (10.2km)
West sea outskirts of circle line	Bibong IC - Measong IC	6	114,855	Suwon (9km)

강설에 따른 고속도로 기본구간의 교통류 특성 변화를 알아보기 위해 강설시 시간대별 적설량과 같은 기상 자료와 동일 시간대의 교통량, 속도 및 밀도와 같은 교통 자료를 수집하게 되는데, 기상자료와 교통자료는 각각 개별 자료로 수집하여 동일시간대 적설량에 따른 교통자료로 결합하여 분석을 수행하였다.

분석에 필요한 기상자료는 주로 적설량을 수집하게 되는데, 기상청 홈페이지에서 제공하는 1시간 신적설량(시간당 쌓이는 적설량을 의미) 자료를 사용하되 이는 기상청에서 공식적으로 인정하는 자료가 아니므로 신뢰성이 다소 떨어질 수 있다. 이를 보완하기 위해 기상청 공식 인증 자료인 3시간 신적설량 자료를 확보하여 1시간 자료에 대한 보완과정을 거쳐 자료의 신뢰성을 확보하였다.

교통자료는 자료수집 대상 고속도로 기본구간에 설치되어 있는 VDS를 통해 수집되는 교통량, 밀도, 속도도로공사 '도로교통연구원 첨단교통정보 연구센터'에서 제공하는 고속도로 검지기 교통이력자료인 30초 원시데이터를 수집하며, 이를 1차 5분 데이터로 가공하고, 2차 15분 데이터로 가공하고, 3차 한시간 데이터로 다시 가공하여 분석에 활용하였다.

## 2. 자료 수집 및 특성 분석

### 1) 자료수집 개요

분석자료는 2008년 12월에서 2011년 3월 중 겨울(매년 12-3월)에 해당하는 12개월의 자료를 분석에 활용하였다. 데이터 수집 시 발생하는 오차를 줄여 분석결과의 정확도를 높이기 위해 균일한 교통류 특성을 나타내는 데이터를 활용하고자 차로별 교통류 특성을 살펴보았다.

속도-교통량, 교통량-점유율 그래프를 차로별로 살펴본 결과, 전체 차로 중 1차로는 속도 및 교통량이 다른 차로에 비해 높은 수준으로 분포되어 있으며, 마지막 차로에 해당하는 3차로 또는 4차로의 경우 다른 차로에 비해 속도 및 교통량이 낮은 지점에 분포되어 있으며, 분포의 편차가 큰 것으로 나타났다. 따라서 본 연구에서는 분석대상 고속도로 전 구간의 첫 번째 차로와 마지막 차로 데이터는 제외(편도 4차로일 경우 2, 3차로 데이터만 분석에 활용)하여 분석하였다.

자료는 크게 기후 양호시와 강설시로 나누어 분석하게 되며, 강설시는 다시 강설 수준별로 나누어 분석하게 된다. 강설시는 기후 양호시와 동일한 방법으로 하되 수

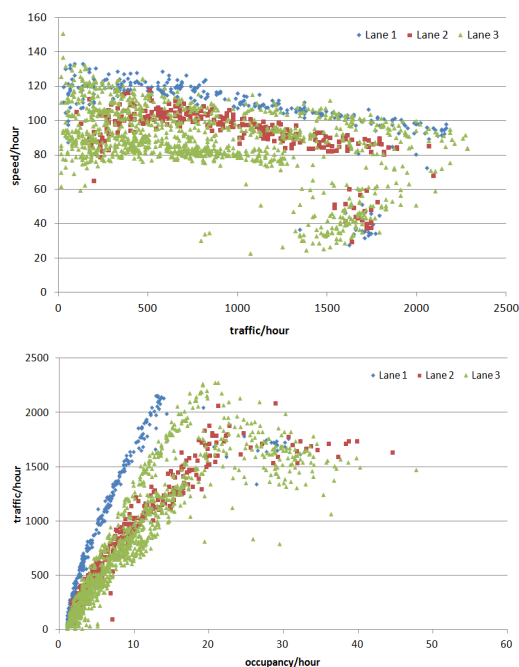


Figure 2. speed-traffic and traffic-occupancy distributionX

집 시점만 다르게 하여 자료수집 기간 중 강설일 중에서도 강설시간에 해당하는 데이터만 추출하여 활용하였다.

### 2) 속도 및 교통량 특성 분석

기상상태에 따른 교통류 특성을 파악하기 위해 7개 고속도로 기본구간에 대해 수집 및 가공된 데이터를 활용하여 기후 양호시와 강설시 교통량, 속도, 밀도(점유율)의 관계에 따른 속도 및 용량 변화를 살펴보았다.

기상상태에 따른 평균 주행속도를 살펴보면, 기후 양호시의 경우 80-120km/h 사이에 가장 많이 분포하고 있으며, 강설시의 경우 60-100km/h 사이에 가장 많이 분포하고 있어, 기후 양호시 대비 강설시 평균 주행속도가 전반적으로 낮아지는 경향이 있는 것을 알 수 있다. 강설이라는 특수한 상황이 차량의 흐름에 영향을 주며 이는 도로의 용량을 감소시키는 요인이 될 수 있을 것으로 판단된다.

기상상태에 따른 최대 관측교통량(용량)을 살펴보면, 기후 양호시의 경우 1500-2000대/시 사이에서 분포하며, 강설시의 경우 1000-1500대/시 사이에 분포하는 것으로 나타나, 평균 주행속도와 마찬가지로 기후 양호시 대비 강설시 최대 관측교통량(용량)이 전반적으로 낮아지는 경향이 있는 것을 알 수 있다.

### III. 강설시 교통류 특성 변화 분석

#### 1. 강설강도 설정

강설시 교통류 변화 특성을 강설수준별로 분석하기 위해서는 비교의 기준이 되는 강설수준을 정하는 것이 선행되어야 하므로 수집된 자료중 강설시 자료를 토대로 하여 강설수준별 강설빈도를 살펴보고 적정 강설수준을 선정하였다.

자료수집 대상 시점인 2008년 12월에서 2011년 3월 까지 3개 기상대별로 강설수준에 따른 강설 빈도를 비교 해본 결과, 3년동안의 강설빈도는 3개 기상대 통틀어서 총 863회(시간)이며, 강설량별로는 0.0cm/h<sup>1)</sup> 수준이 396회로 약 46%를 차지해 가장 높은 빈도를 나타냈다. 다음으로는 0.1-0.5cm/h 수준이 299회로 34.6%를 차지하였으며, 그 이상의 수준은 비교적 낮은 강설빈도는 나타내는 것으로 나타났다. 전반적으로 1.0cm/h 이하의 강설 수준이 전체 강설 빈도의 90%로 대다수를 차지하고 있었으며, 강설 수준이 높아질수록 빈도는 현저히 낮아지는 것으로 나타났다.

강설수준별 강설빈도를 살펴봄에 따라 본 연구에서는 강설강도를 크게 3단계로 분류하여 분석을 수행하였다.

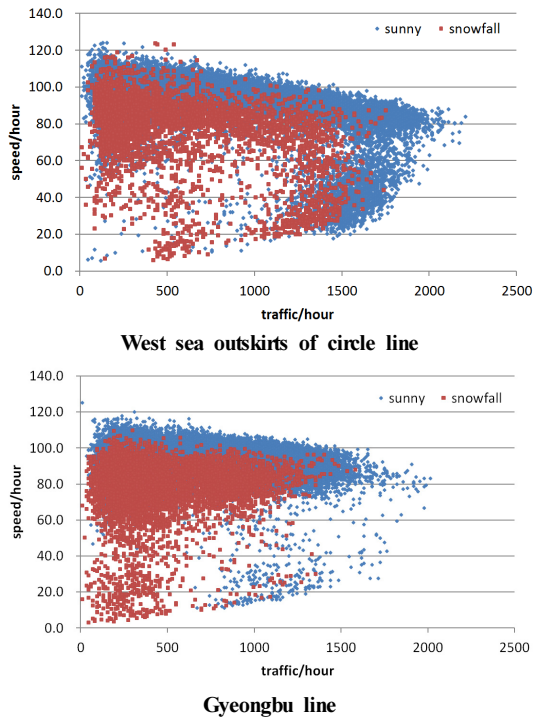


Figure 3. Speed-traffic distribution

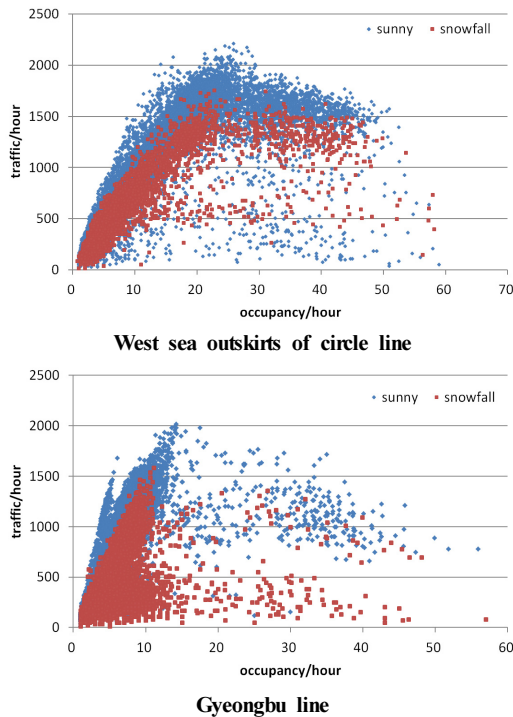


Figure 4. Speed-traffic distribution

Table 4. Frequency by snowfall intensity

Intensity of snowfall	Frequency	Ratio(%)
0.0cm/h	396	45.9
0.1-0.5cm/h	299	34.6
0.6-1.0cm/h	80	9.3
1.1-1.5cm/h	35	4.1
1.6-2.0cm/h	25	2.9
2.1-2.5cm/h	6	0.7
2.6-3.0cm/h	7	0.8
above 3.1cm/h	15	1.7

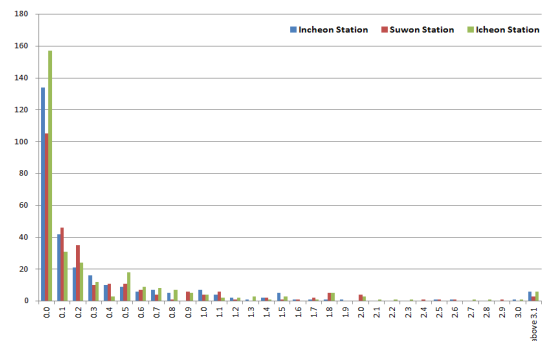


Figure 5. Frequency by snowfall intensity

1) 눈은 오고 있으나 도로상에 눈이 쌓이지는 않은 상태

**Table 5. Classification of snowfall intensity**

Intensity of snowfall	snowfall (cm/hour)	note
Light snow	~0.1	small amount of snow
Medium snow	0.1-2.0	general snowfall
Heavy snow	2.1~	including heavy snow

첫 번째 단계인 Light Snow(약한 눈)는 눈은 오지만 바닥에 눈이 쌓이지는 않은 상태로 강설의 도로상의 눈의 영향은 받지 않겠으나 강설의 심리적인 영향을 파악할 수 있으며, 두 번째 단계인 Medium Snow(보통눈)는 우리나라 강설의 보편적인 수준으로 도로상에 쌓인 눈에 의해 차량의 흐름이 영향을 받을 것으로 예상되는 단계이다. 마지막으로 Heavy Snow(강한눈)는 발생빈도가 많지는 않지만 발생할 경우 차량의 흐름에 큰 영향을 줄 것으로 예상되는 폭설 및 대설 등이 이에 해당한다.

## 2. 기초통계분석

### 1) 지점별 교통량 분포 검증

강설수준에 따른 차이를 변화 특성을 분석하기에 앞서 분석의 대상이 된 7개 고속도로 기본구간의 데이터가 통합하여 분석하기에 용이한 지, 즉 7개 고속도로의 통행특성이 동일할지에 대한 검증을 실시하였다.

각 노선별 강설수준에 따른 최대관측교통량이 노선별로 차이가 있는지 검증하기 위해 통계적인 분석(ANOVA)을 수행하였다.

분석결과 Table 6에 제시되어 있는데, '고속도로 7개 노선의 최대관측교통량 분포가 차이가 있는가'에 대한 검증 결과 sig(0.106)>0.05로 나타나 노선별 최대관측교통량 분포는 차이가 없는 것으로 나타났다. 즉, 다시 말하면 분석대상이 된 7개 고속도로 노선의 분포는 비교적 유사한 특성을 나타내고 있으며, 이는 곧 하나의 데이터로 통합하여 결과를 도출해도 무방함을 시사하는 결과라 할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 분석대상인 고속도로 7개 기본구간의 강설수준별 최대관측교통량을 통합하여 결과를 도출하는 것으로 한다.

**Table 6. ANOVA analysis result**

	Sum of Square	df	Mean Square	F	sig.
Between Group	949873.5	6	158312.250	2.031	.106
Within Group	1636720.5	21	77939.071		
Total	2586594.0	27			

### 2) 강설수준별 교통량 분포 검증

분석대상 고속도로 7개 구간에 대한 최대관측교통량(용량)을 강설수준별로 살펴보면 다음과 같다. 기후 양호시 대비 강설시 최대관측교통량은 감소하는 것으로 나타났다. 강설수준이 높아질수록 최대관측교통량은 점차 감소하는 경향이 있으며, 감소율의 증가폭이 높아지는 것으로 나타났다.

강설수준별로 상이하게 나타난 최대관측교통량이 각 수준별로 의미 있는 차이를 나타내는지 검증하기 위해 통계 분석을 수행하였다. 분석대상 고속도로는 각 구간별로 상이한 통행 특성을 보이고 있어 이를 일반화하여 통계적 유의미성을 분석하기에는 다소 무리가 있다고 판단되어, 차이 검증을 위한 분석으로 '대응표본 t-test'를 적용하였다.

통계적 검증을 수행한 결과 유의수준 5%에서 강설수준별로 차이가 있는 것으로 나타나(p<0.05) 강설수준별로 최대관측교통량은 상이하게 나타남을 알 수 있다.

따라서 앞서 강설빈도에 따라 3단계로 구분한 강설강도는 강설수준에 따른 교통류 변화 특성을 분석하기에 적합한 분류로 판단된다.

**Table 7. Average of maximum traffic volume**

survey point	Intensity of snowfall			
	non	below 0.1	0.1-2.0	above 2.1
Gajwa - West Incheon	1,680	1,075	988	858
West Incheon - Bupyeong	1,173	1,048	1,050	1,016
Bibong - Measong	1,654	1,435	1,287	703
East Suwon - Singal	1,257	1,045	939	451
Singal - Pangyo	1,501	1,518	1,278	1,162
Hobup - Icheon	1,137	1,103	818	697
Icheon - Yoeju	1,059	934	690	572

**Table 8. Verification of statistically significant difference**

Comparison group	t	sig.
non-snowfall ↔ Light	2.547	0.044
Light ↔ Medium	4.084	0.006
Medium ↔ Heavy	2.795	0.031

## IV. 교통류 변화 특성 분석

### 1. 평균 통행속도 변화 특성

먼저 통행속도 변화 특성을 살펴보면 기후 양호시 대비 강설시 평균 통행속도는 전반적으로 낮아지는 경향을 보이며, 강설강도가 높아질수록 감소율 또한 증가하는

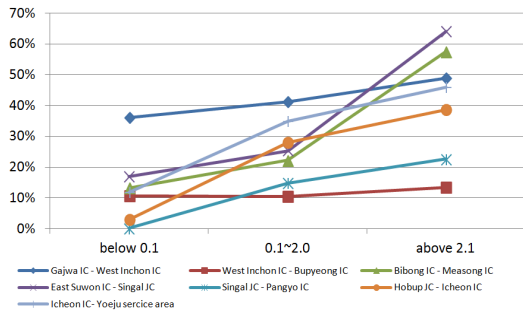


**Table 9. Reduction ratio of speed by snowfall intensity**

Intensity of snowfall	Reduction ratio
Light snow (below 0.1cm/h)	13.2%
Medium snow (0.1-2.0cm/h)	18.6%
Heavy snow (above 2.1cm/h)	32.0%

**Table 10. Reduction ratio by snowfall intensity and adjustment factor for capacity**

Intensity of snowfall	Reduction ratio	Adjustment factor for capacity
Light snow (below 0.1cm/h)	13.1%	0.87
Medium snow (0.1-2.0cm/h)	25.0%	0.75
Heavy snow (above 2.1cm/h)	32.7%	0.67



**Figure 6. Reduction ratio of capacity by snowfall intensity**

것을 알 수 있다. 평균통행속도는 교통류율 수준에 따라 다른데 용량상태에 접근할수록 평균통행속도는 낮아진다. 따라서 교통류율 수준이 낮을 때 보다 용량상태에 가까워질수록 강설에 의한 영향이 더 커질 것이기 때문에 기상상태를 고려한 용량 보정이 요구된다고 할 수 있다.

강설수준에 따른 최대관측교통량(용량) 변화를 살펴 보면, 평균통행속도 분석 결과와 마찬가지로 강설수준이 높아짐에 따라 관측교통량은 낮아지는 것으로 나타났으며, 감소율 또한 증가하는 것으로 나타났다. 감소율 도출 결과에 따라 기후양호시 대비 강설시 강설보정계수를 산출해보면 Table 8과 같으며 이는 기존에 적용해왔던 고속도로 기본구간 용량산정시 강설에 의한 보정계수로 활용할 수 있을 것으로 판단된다.

## V. 결론

본 연구는 수도권 고속도로(7개 고속도로 기본구간)를 대상으로 강설수준에 따른 고속도로 용량변화를 도출

하기 위해 각 고속도로 기본구간에 대한 기상자료 및 교통자료를 수집하고 이를 강설수준별로 분석하였다.

국내·외 관련문헌을 검토한 결과 국외의 경우 강설에 따른 속도 및 용량 감소 효과를 정량화한 연구가 계속 진행중이며, 지속적인 연구의 필요성을 언급하고 있다. 연구결과 또한 강설에 따른 속도 및 용량 변화가 발생하며 이를 충분히 고려할 필요가 있음을 강조하고 있었다. 그러나 국내 연구의 경우 강설 관련 연구는 시작단계로 미흡한 상황이다.

강설수준별 용량 변화를 분석하기 위해 강설수준을 3 단계(Light(약한눈), Medium(보통눈), Heavy Snow(강한눈))로 분류하였으며, 각 강설수준별로 용량이 차이가 있는지 검증하기 위해 통계적 분석(대응표본 t-test)을 수행한 결과 강설수준별로 용량은 차이가 있는 것으로 나타났다.

이에 따라 강설수준에 따른 용량 변화를 살펴보면, 기후 양호시 대비 Light Snow(약한 눈)인 경우 13.2% 감소하였으며, Medium Snow(보통 눈)은 18.6%, Heavy Snow(강한 눈)은 32.0% 감소하는 것으로 나타나 강설수준이 높아질수록 용량 감소율은 증가하는 것으로 분석되었다.

본 연구의 분석결과에서 드러난 것과 같이 기상악화는 도로의 운영 효율을 저하시키는 요인으로 작용할 가능성이 매우 크다고 할 수 있으므로, 이를 고려한 도로 설계 및 운영 방법이 필요하며 이를 위해서 기상상황을 고려한 연구가 확대되어야 할 것이다.

본 연구를 통해서 분석된 강설보정계수는 강설에 따른 속도 및 교통량을 강설수준에 따라 구분하여 제시함으로써 현재 이상적인 도로 조건을 기준으로 제시되어 있는 교통류 관련 관계식 및 도로 용량, 속도 등을 분석함에 있어 강설의 영향을 반영할 수 있는 보정계수 역할을 할 수 있을 것으로 판단된다. 이를 도로 설계 및 운영에 반영함으로써 실시간 교통 정보 제공 및 도로 운영 전략 수립, 도로 설계 시 기상대응형 도로 및 교통 운영을 구현하도록 하는 기초 자료로 제공될 수 있을 것이다.

갈수록 지구 온난화 및 이상기후로 인해 전 세계적으로 악천후가 끊이지 않는 현시점에서 악천후에 따른 교통문제를 방지하고 감소시키기 위해서는 지속적인 악천후 관련 연구가 수행되어야 할 것이다.

향후 관련 연구를 더 발전시키기 위해서는 먼저 충분한 자료 확보가 가능하도록 기상 및 교통 관련 관계 기관의 협조가 필요할 것으로 생각되며, 이러한 자료를 통해



