

강설에 따른 고속도로 주행속도 변화연구

- 서해안고속도로를 중심으로 -

Effects of Snowfall Intensity on Freeway Travel Speed

(Focused on Seohaean Freeway)

홍성민 Hong, Sungmin
오철 Oh, Cheol
양충현 Yang, Chunghoen
전우훈 Jeon, Woohoon

한양대학교 교통공학과 석사과정 (E-mail : hsm507@hanyang.ac.kr)
정회원 · 한양대학교 교통물류공학과 교수 · 교신저자 (E-mail : cheolo@hanyang.ac.kr)
정회원 · 한국건설기술연구원 도로연구실 수석연구원 (E-mail : chyang@kict.re.kr)
정회원 · 한국건설기술연구원 도로연구실 전임연구원 (E-mail : cwphoon@kict.re.kr)

ABSTRACT

PURPOSES : Adverse weather conditions such as heavy rain, heavy snowfall, and thick fog and so on have highly affect on the change in traffic conditions on the road. In particular, heavy snowfall causes capacity reduction as well as crash occurrence. This study investigated the effects of snowfall on speed on a freeway.

METHODS : Vehicle detection systems data were matched with corresponding weather station data by regression analysis.

RESULTS : The results show that the travel speed is reduced by 6.7% under little snowfall and by 12.8% under heavy snowfall. Regarding the speed variation, 8.7% and 114.7% increases are observed under little snowfall and heavy snowfall, respectively. It is also found that 1 cm increase in snowfall leads to 0.4% decrease in travel speed. In addition, the travel speed increases by 0.4% when the temperature increases by 1°C.

CONCLUSIONS : It is expected that the outcome of this study will be useful in establishing more effective strategies for winter operations and road maintenance in practice.

Keywords

adverse weather condition, snowfall, temperature, speed variation, free-flow speed, regression analysis

Corresponding Author : Oh, Cheol, Professor
Department of Transportation & Logistics Engineering,
Hanyang University, 55 Hanyangdaehak-ro, Sangnok-gu,
Ansan-si, Gyeonggi-do, 426-791, Korea
Tel : +82.31.400.5158 Fax : +82.31.436.8147
email : cheolo@hanyang.ac.kr

International Journal of Highway Engineering
<http://www.ksre.or.kr/>
ISSN 1738-7159 (Print)
ISSN 2287-3678 (Online)

1. 서론

최근 국내 동절기 강설량 및 폭설 빈도가 증가하고 있으며 이는 전 세계적으로 겪고 있는 이상기후에 의한 것으로 추정된다. 최근 3년간의 국내 대설주의보 발령횟수(2007년~2009년)는 233회에서 173회로 약 35% 감

소하였으나 2010년 3월까지의 대설경보 발령횟수는 약 75% 증가한 것으로 나타났다(국토해양부, 2010). 이와 같은 강설 및 강우는 운전자의 운전능력 중 운전자의 시인성 및 노면 마찰력 등에 부정적인 영향을 미치게 된다. 특히 강설 후 도로적설은 운전자의 안전뿐만 아니라

교통 소통에도 큰 영향을 미치게 된다. 또한 최근 3년간 (2008~2010년) 교통사고 통계(도로교통공단 교통사고 통계자료)에 따르면 강설 시 교통사고는 증가하는 추세로 전체 교통사고 건수는 약 5.0% 증가하였으나 강설 시 교통사고는 약 118% 증가한 것으로 조사되었다. 특히, 전체교통사고의 사망자 수는 약 6% 감소한 반면 강설 시 교통사고 사망자 수는 59% 증가하는 등 강설에 의한 도로의 안전성 문제가 심각한 실정이다.

이에 본 연구는 기상자료와 차량의 검지기자료를 활용하여 강설량 및 기온의 변화에 따른 교통조건의 변화를 분석함으로써 기상조건이 악화됨에 따라 교통성능(자유속도)이 감소하는 정도를 계량화하는 교통성능수를 추정하는 것을 목표로 하였다. 현재 국내에서는 제설작업과 관련하여 「도로 제설업무 수행요령」(건설교통부, 2002)를 통하여 강설량에 대한 제설제 및 제설차의 능력에 따른 제설방법을 제시하고 있다. 그러나 제설 능력뿐만 아니라 강설에 대한 도로의 기능, 교통량, 차량들의 주행속도 변화 등의 도로교통조건을 고려한 도로 제설 우선순위를 설정할 수 있다면 제설장비의 효율성을 보다 높일 수 있을 것으로 판단된다. 즉, 본 연구를 통하여 도출된 결과를 활용하여 강설에 따른 교통상황의 변화를 예측함으로써 동절기 교통사고대비전략 및 제설작업 등의 우선순위 선정, 효율적인 제설장비 운영 절차와 같은 도로관리 계획의 교통운영전략수립의 기초 자료로 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

분석대상구간 설정을 위하여 우리나라의 지난 3년간

(2007년~2009년) 평균 대설정보 발령횟수의 증가추세를 분석한 결과 호남지역이 강원도 지역보다 훨씬 높은 것으로 나타났다(국토해양부, 2010). 이에 본 연구에서는 분석구간을 호남권의 고속도로를 선정하였으며, 호남권 중 강설량이 충분히 많은 지역인 정읍기상대의 영향권을 분석대상으로 선정하였다. 교통조건 자료는 정읍기상대의 영향권인 고속도로 서해안선(고창IC~선운산IC)의 VDS(Vehicle Detection System) 자료를 분석하였으며, 기상조건 자료는 정읍기상대의 기온 및 강설량 자료를 활용하였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 강설량과 교통조건의 관계에 대한 기존문헌을 고찰하였고, 3장에서는 자료 구축 등의 실험 개요를 기술하였다. 4장에서는 강설량에 따른 평균속도 및 표준편차의 변화를 분석하고, ANOVA검정의 사후검정분석을 실시하였다. 그리고 회귀분석을 통하여 강설량 및 기온에 따른 주행속도 추정함수를 제시하였다. 마지막으로 제 5장에서는 본 연구의 결론을 제시하였으며, 전체적인 연구의 흐름도를 Fig. 1에 제시하였다.

2. 기존문헌 고찰

본 연구에서는 기상조건에 따른 교통변화에 관한 국내·외 연구내용에 대하여 고찰하였다. 본 연구의 방법론 정립을 위해 기존의 미시적 강설량과 교통조건의 관계에 대한 연구를 고찰하였다. 또한 거시적 관점에서 강

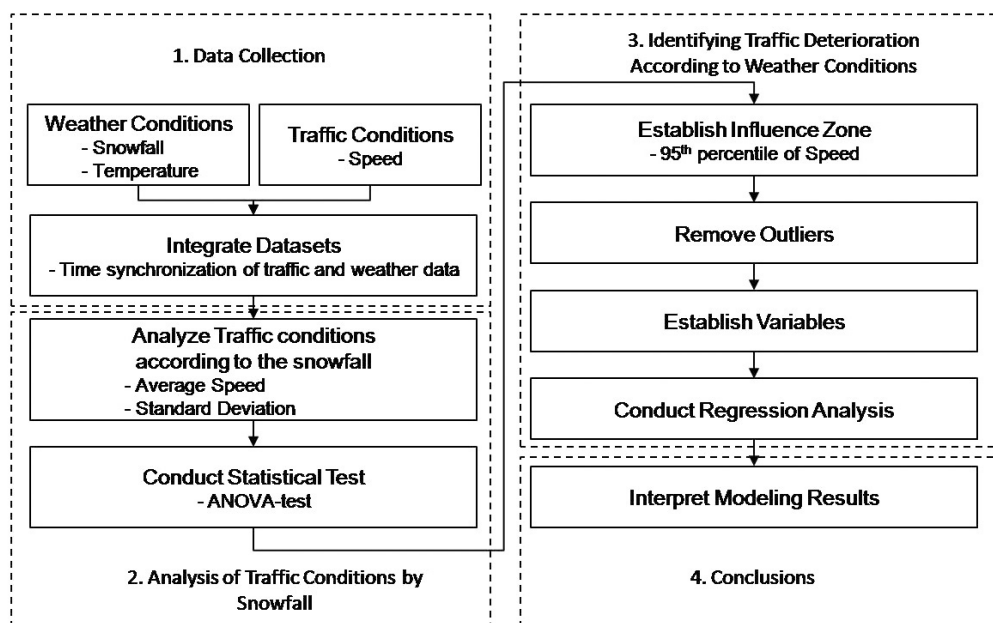


Fig. 1 Overall Procedure for Analysis

설량과 통행특성의 관계를 통해 운전자들의 통행특성에 대하여 고찰하였다.

2.1. 기상조건과 교통조건에 관한 연구

Lijuan Shi et al.(2011)은 도로환경요소와 강우량에 의한 도시부 고속도로의 교통특성의 변화에 대하여 분석하였다. Milwaukee의 I-894/US45도로의 3년간 자료를 활용하였으며, 회귀분석을 통하여 강우량과 도로환경요소에 대한 도시부 고속도로의 자유속도의 변화에 대하여 분석하였다. 분석결과 자유속도는 강우량 0.01in/hr 미만, 0.01~0.03in/hr, 0.03in/hr 이상에서 각각 3.7%, 4.2%, 4.8% 감소하는 것으로 나타났다. 또한 용량은 각각 3.7%, 4.2%, 4.8% 감소하는 것으로 나타났다. Agarwal et al.(2005)은 기상조건에 따른 교통류간의 상관관계의 규명을 통해 도로 용량과 속도 감소 정도를 추정하였다. Twin Cities 주변의 도시고속도로를 대상으로 비, 눈, 도로 노면 등의 변화에 따라 도로 용량 변화를 정량화하였다. 이를 위해 도로 표면 감시 시스템(automated surface observing systems : ASOS)과 도로기상정보시스템(Road Weather Information System : RWIS)을 이용하여 4년 동안 교통자료를 수집하였다. 강우(0.25in/hr 이상), 강설(0.5in/hr), 낮은 시정거리(0.25mile 미만)로 구분하여 측정한 결과 각각 10~17%, 19~27%, 12%의 용량 감소가 확인되었다. 또한 속도 감소량은 4~7%, 11~15%, 10~12%로 나타났다. Maze et al.(2005)은 기상 조건이 교통류에 영향을 미친다고 가정하고 기상 조건에 따른 교통안전, 교통수요, 교통류의 영향을 분

석하였다. 이를 위해 자료 수집이 용이한 Twin Cities에 존재하는 Minneapolis/St. Paul에서 4년 동안의 기상 및 교통자료를 수집하여 날씨 변화에 따른 도로 용량, 속도, 안전, 수요 등의 관계를 분석하였다. 그 결과 강설량이 ≤ 0.05 인 경우에 교통용량의 감소량은 4%, 강설량이 0.06~0.1인 경우 교통용량의 감소량은 9%, 강설량이 0.11~0.5인 경우 교통용량의 감소량은 11%인 것으로 나타났다. 각 분석결과들을 요약하여 Table 1에 제시하였다.

2.2. 기상조건과 통행특성과의 관계 연구

백승걸 외(2010)는 강설일과 비강설일의 일평균통행량 및 평균통행거리를 비교하여 강설량이 통행특성에 미치는 영향을 분석하였다. 평일·주말에 따른 통행 특성을 검토한 결과 비강설일 대비 강설일의 통행량과 평균통행거리가 감소하였으며, 강설 시 평일·주말의 통행량은 비강설일 대비 강설일의 평균통행거리가 짧게 나타났다. 결과적으로, 강설 수준과 통행량과의 관계를 검토한 결과 강설량이 증가함에 따라 일평균 통행량은 감소하는 추세를 보이고 있음을 검증하였다. Datla et al.(2007)은 기상조건과 교통량의 관계를 캐나다의 Alberta에 있는 고속도로를 중심으로 약 350개 지점에서 교통자료와 기상자료를 수집하였다. 분석 결과 통근성 도로보다 여가성 도로의 경우 교통량은 강설량이 많고 기온이 낮을수록 감소하였다. 박창수 외(2004)는 부득이하게 강설이 있는 날 조사된 교통량 자료를 이용해 AADT를 추정할 경우 적용할 수 있는 날씨보정계수를 산출하였다. 이를 위해 강설일과 동일한 월·일에 대한

Table 1. Summary of Literature Review

Researcher	Year	Study Area	Results of Study	
			Speed	Capacity
Agarwal et. al.	2005	Urban Freeway	<ul style="list-style-type: none"> Rainfall (>0.25in/hr) : 4~7% Reduced Snowfall (>0.5in/hr) : 11~15% Reduced Visibility (<0.25mi) : 10~12% Reduced 	<ul style="list-style-type: none"> Rainfall (>0.25in/hr) : 10~17% Reduced Snowfall (>0.5in/hr) : 19~27% Reduced Visibility (<0.25mi) : 12% Reduced
Maze et. al.	2005	Urban Highway	-	<ul style="list-style-type: none"> Snowfall (≤ 0.05in/hr) : 4% Reduced Snowfall (0.06~0.1in/hr) : 9% Reduced Snowfall (0.11~0.5in/hr) : 11% Reduced
Lijuan Shi et. al.	2011	Urban Freeway	<ul style="list-style-type: none"> Slight Rain (<0.01in/hr) : 3.7% Reduced Moderate Rain (0.01~0.03in/hr) : 4.2% Reduced Heavy Rain (0.03in/hr) : 4.8% Reduced 	<ul style="list-style-type: none"> Slight Rain (<0.01in/hr) : 3.7% Reduced Moderate Rain (0.01~0.03in/hr) : 4.2% Reduced Heavy Rain (0.03 in/hr) : 4.8% Reduced
			<ul style="list-style-type: none"> Surface Temp. ($<32^{\circ}$F) : 1.2% Reduced Surface Temp. ($<60^{\circ}$F) : 1.2% Reduced Wet Surface : 3% Reduced 	<ul style="list-style-type: none"> Surface Temp. ($<32^{\circ}$F) : 1.1% Reduced Surface Temp. ($<60^{\circ}$F) : 5.5% Reduced Wet Surface : 5.5% Reduced

교통량자료와 날씨가 맑은 날의 교통량 자료를 수집하여 월 보정계수와 요일 보정계수를 산출하였으며 이들의 비율을 근거로 날씨보정계수를 산출하였다.

그 밖에 Hassan & Barker(1998)는 이상기온이나 폭우 시 교통량이 평일에는 3%, 주말에는 4% 감소하며, 강설 시에는 평일에 10%, 주말에는 15% 감소한다고 하였으나, Brodsky & Hakkert(1998)는 비가 내릴 경우 도로나 대중교통을 이용하는 통행자들이 승용차로 수단을 바꾸기 때문에 오히려 교통량이 증가한다고 주장하였다. 또한, Khattack(1993)은 눈보라와 같은 악천후는 출발시간과 목적지를 변화시키며, 상당한 수단변경이 발생한다고 하였다.

2.3. 기존연구와의 차별성

기존 연구들을 통하여 교통류의 상태는 기상조건에 따라 영향을 받는다는 사실이 증명되었다. 그러나 교통류의 영향정도는 분석구간 및 기상특성에 따라 매우 상이한 결과를 보이는 것으로 나타났다. 또한 교통량의 경우, 기상에 대하여 운전자들의 수단전환 및 통행포기를 유발하는 것으로 나타나 본 연구의 목표인 강설량에 따른 교통성능의 변화로 판단하기 어렵다고 판단하였다. 이에 본 연구에서는 기상조건이 악화됨에 따른 교통성능의 변화를 분석하기 위하여 강설량과 기온, 주행속도의 관계를 계량화하였다. 본 연구의 결과는 차량들의 주행속도를 고려한 동절기 제설작업 우선순위설정과 같은 도로관리 전략 계획 수립 및 우회로 확보와 같은 다양한 교통운영전략 시행을 위한 의사결정지원 자료로 유용하게 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

3. 자료구축

본 연구에서는 기상조건과 속도와의 관계를 도출하기 위하여 기상조건은 기온과 강설량의 자료를 이용하였으며 분석구간의 차량 속도를 이용하였다. 분석대상구간은 지난 3년간(2007~2009년) 대설경보 발령횟수가 증가하고 있는 호남지역의 고속도로인 고속도로 서해안선의 고창IC~선운산IC 구간의 총 연장 8.0km를 대상으로 하였다. 분석기간은 본 연구의 목적에 부합하도록 2005년~2006년의 동절기(11월~2월)를 분석기간으로 하였다

교통조건 자료는 분석대상구간에 설치된 8개의 차량검지기(VDS)로부터 추출된 속도자료를 활용하였다. 기상자료는 분석대상 구간 서해안고속도로 고창IC~선운

산IC와 가장 인접한 기상관측소인 18km 거리의 정읍기상대의 기상자료를 활용하였다. 기상자료는 기온, 적설량, 신적설량으로 구분되었는데 본 연구에서는 분석을 위하여 기상자료 중 기온과 신적설량을 기상조건자료로 활용하였다. 신적설량이란 수집시간 동안 실제로 내린 눈의 양이며, 적설량은 기존에 내린 눈의 잔설량과 신적설량의 총합으로 관측 당시 노면에 쌓인 눈의 높이이다. 본 연구에서 활용한 자료는 기상대에서 수집한 자료로서 고속도로에서는 강설 시 제설작업과 같은 이유로 실제 도로에 쌓여있는 눈의 양을 알 수 없어 적설량이 아닌 신적설량을 이용하여 분석을 실시하였으며 신적설량을 강설량으로 정의하였다. 동일 시간에 수집되는 기상조건자료와 속도자료를 결합시킨 후, 분석을 실시하였다. Table 2에 본 연구에서 이용된 자료들의 기술통계량을 제시하였다.

Table 2. Variable Descriptions

	Speed(km/h)	Snowfall(cm)	Temperature(°C)
Sample Size	18,875	18,875	18,875
Minimum	36.0	0.0	-12.3
Maximum	132.8	16.6	23.7
Mean	103.0	0.1	3.4
Standard Deviation	5.0	0.8	5.9

4. 분석

본 연구에서는 강설량 및 기온의 기상조건이 차량의 주행속도에 미치는 영향을 분석하였으며 기상조건에 따른 교통성능함수 도출을 위하여 4단계의 진행과정을 설정하였다. 1단계는 분석을 위한 자료구축단계로 기상자료와 검지기자료를 결합시키는 단계이다. 2단계는 강설량수준에 따른 속도변화 특성분석 단계로 강설량수준을 「도로 제설업무 수행요령(2002), 건설교통부」에 제시된 상(10cm 이상, Heavy Snow), 중(3cm~10cm, Moderate Snow), 하(3cm 이하, Slight Snow), 맑음(0cm, Normal Condition)의 4그룹으로 구분하였다. 구분된 강설량 수준에 따른 평균 주행속도 및 표준편차의 변화를 분석하였다. 또한, ANOVA-test 및 사후검정을 통하여 강설량 수준 집단 별 속도의 차이가 유의한지 검증하였다. 3단계는 기상조건에 따른 교통조건과의 관계를 함수식으로 도출하는 단계로 회귀분석을 통하여 교통성능함수를 도출하였다. 마지막으로 4단계에서는 본 연구의 결론을 제시하였다.

4.1. 강설량 수준에 따른 주행속도 특성 분석

강설량 수준에 따른 주행속도의 평균 및 표준편차의 변화에 대한 특성을 분석하였다. 분석 결과 Fig. 2, Table 3과 같이 분석구간의 강설량에 따른 평균속도는 「도로 제설업무 수행요령(2002), 건설교통부」 기준의 강설량 ‘하(3cm 이하)’ 수준의 강설량에서 6.7%, ‘중(3~10cm)’ 수준에서 9.0% 감소하는 것으로 나타났으며, ‘상(10cm 이상)’ 수준의 강설량에서는 약 12.8% 감소하는 것으로 분석되었다. 반면 속도의 표준편차는 강설량에 따라 맑은 날씨보다 ‘하’ 수준에서 8.7%, ‘중’ 수준에서 33.6% 증가하는 것으로 분석되었으며, ‘상’ 수준에서는 114.7%가 증가하는 것으로 분석되었다. 강설량에 따른 차량의 속도에 대한 분석결과 강설량이 증가할수록 평균속도는 감소하며 속도의 표준편차는 증가하는 것으로 나타났다. 이러한 현상의 원인으로서는 속도의 경우 강설량이 증가함에 따라 도로의 마찰력 감소 및 운전자의 시거제약으로 주행속도의 평균은 감소한 것으로 판단된다. 그러나 표준편차의 증가는 운전경력, 성별, 연령별 등 운전자의 기상환경에 따른 반응특성의 차이와 같은 운전자적 요소가 영향을 미쳤을 것으로 판단된다. 또한 체인착용차량과 미착용차량과 같은 요소 역시 속도의 편차가 커지는 원인 중 하나일 것으로 판단된다.

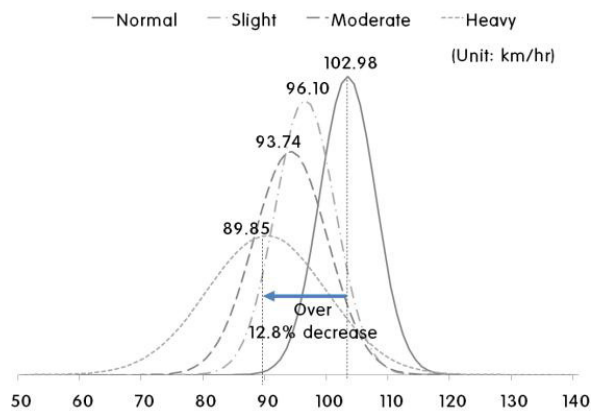


Fig. 2 Effects of Snowfall Intensity on Avg. Speed

Table 3. Effects of Snowfall Intensity on Avg. Speed

	Normal	Slight	Moderate	Heavy
Avg. Speed (km/h)	102.98	96.10	93.74	89.85
Standard Deviation	4.50	4.89	6.01	9.66
Coefficient of Variation	4.40%	5.10%	6.40%	10.70%

또한 본 연구에서는 강설량 수준 4그룹(맑음, 하, 중, 상)에 따라 평균속도가 감소하는 것으로 나타났으나 4그룹이 교통의 특성을 잘 설명할 수 있는지 검증하기 위하여 분석을 실시하였다. 우선 귀무가설(H0)을 「모든 강설량 수준별 집단의 평균은 같다」로 설정한 후, 분석방법은 2개 이상의 집단 간의 평균값을 비교 분석하는 방법인 ANOVA-test를 실시하였다. 분석결과 주행속도는 유의확률 0.0으로 유의수준 5%에서 귀무가설을 기각하여 4종류의 강설량 그룹 간에는 차이가 있는 것으로 분석되었다. 그러나 분산분석의 결과는 어느 집단 간의 차이가 있는지 알 수 없으므로 각각의 집단의 평균이 다른 모집단의 평균과 차이가 있는지 분석을 위하여 Scheffe-test 쌍대비교(pairwise comparison)로 사후분석을 실시하였다. Scheffe 사후분석은 각 집단별로 2개의 집단끼리 모든 경우의 수에 대하여 T검정을 반복하여 수행하는 방법이다. Scheffe의 사후분석 결과 주행속도는 설정된 맑음, 상, 중, 하의 4집단 사이모두에서 속도의 차이가 통계적으로 유의한 것으로 분석되었다. Table 4에 강설량 수준에 따른 주행속도차이에 대하여 분산분석과 Scheffe 사후분석결과를 제시하였다.

Table 4. Comparison of Travel Speed by Snowfall Intensity

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	
Between Groups	61,335.6	3	20,445.2	987.3	0.0	
Within Groups	390,787.9	18,871	20.7			
Total	452,123.6	18,874				
	Snowfall	N	1	2	3	4
Scheffe	Heavy Snow	36	89.85			
	Moderate Snow	216		93.74		
	Slight Snow	854			96.10	
	Normal Condition	17,769				102.98
Sig.			1.0	1.0	1.0	1.0

4.2. 기상조건에 따른 주행속도 추정함수

본 연구에서는 강설량에 따른 주행속도의 변화를 계량화하는 추정함수 도출을 위해, 영향권을 설정하였다. 주행속도는 강설뿐만 아니라 교통지체 및 정체, 교통사고와 같은 이벤트 등에도 영향을 받기 때문에, 순수하게 강설만의 영향을 고려하기 위해서는 합리적인 분석대상 자료의 범위를 결정하는 영향권 설정이 필요하다. 이를 위해 본 연구에서는 기존의 관련 연구(Lijuan Shi et al.(2011))에서와 같이 강설수준에 따라 관찰되는 주행

속도의 95퍼센타일 값을 분석대상으로 적용하였다. 95 퍼센타일 이상의 속도를 사용하는 경우 비현실적인 고속의 주행속도 이상치(outlier) 자료의 영향이 분석결과에 투영될 가능성이 높고, 95퍼센타일 이하의 속도는 앞서 언급한 바와 같이 지체 및 정체, 교통사고 등의 영향이 분석결과에 반영될 가능성이 높다. 그러나 95퍼센타일 속도는 운전자의 속도선택에 영향을 미치는 요인이 강설만으로 한정된 다른 제약조건(restriction)이 최소화된 교통상황으로 생각할 수 있다. 따라서 95퍼센타일의 속도를 분석에 적용하는 것이 본 연구의 목적에 가장 부합되는 분석방법이라고 할 수 있다. Fig. 3에 영향권 설정 방법에 대한 개념도를 제시하였다. 한편, 영향권을 설정하지 않고 전체 자료를 이용하여 모형을 추정할 경우 기상조건과 속도 간에는 유의한 관계가 나타나지 않았다($R^2=0.003$). 이에 본 연구의 영향권 설정결과를 Fig. 4에 제시하였다.

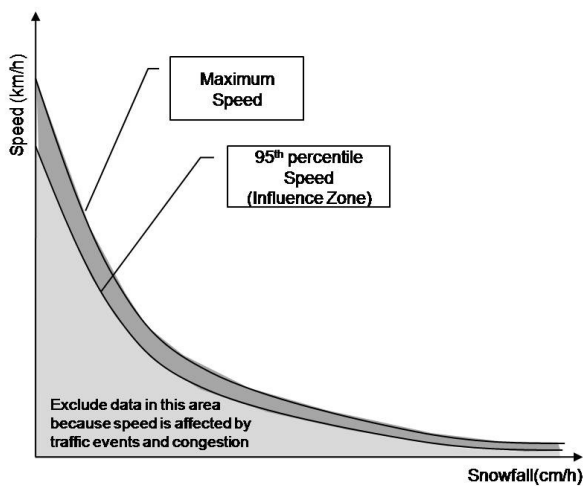
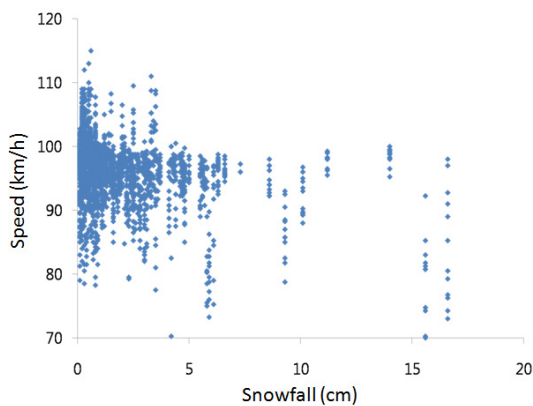
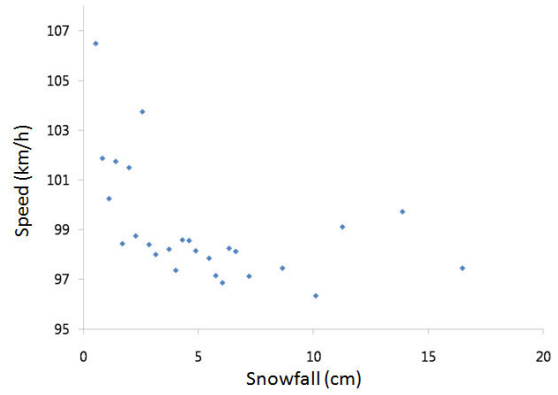


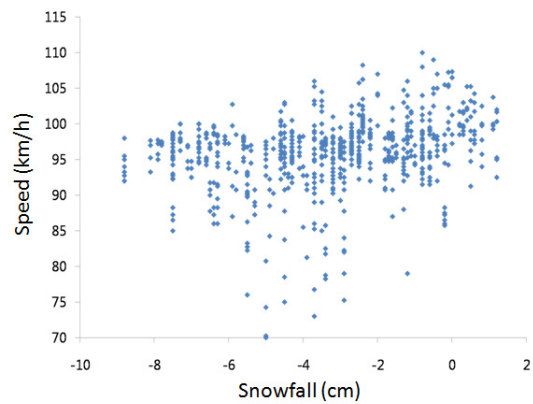
Fig. 3 Conceptual Illustration of Relationship Between Traffic Performance and Snowfall



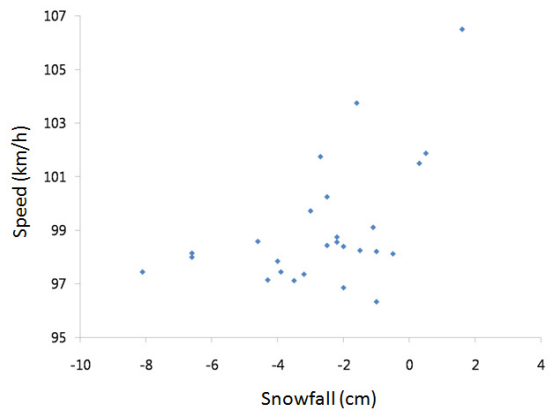
(a) Speed vs. Snowfall



(b) Speed vs. Snowfall(Influence Zone)



(c) Speed vs. Temperature



(d) Speed vs. Temperature(Influence Zone)

Fig. 4 Data Patterns by Influence Zone

영향권 설정 후, 강설량 및 기온에 따른 주행속도가 감소하는 관계를 가장 잘 설명할 수 있는 모형을 도출하기 위하여 선형, 2차식, Log 및 Exponential 회귀분석을 실시하여 비교하였다. 비교결과를 Table 5에 제시하였으며, 분석 결과에 따르면 Exponential 함수가 모형의 설명력을 나타내는 R^2 값이 0.417로 가장 높게 나타

Table 5. Comparison of Model Specifications

	Exponential	Linear	Quadratic	Log
R ²	0.417	0.349	0.349	0.112
F (p-value)	9.937 (0.001)	7.70 (0.003)	7.71 (0.003)	2.57 (0.098)
Equation	Speed = 101.7exp(-0.004Snow +0.004Temp)	Speed = 101.353exp(-0.21Snow +0.45Temp)	Speed = (10.066-0.01Snow +0.022Temp)	Speed = LN[2.97×10 ⁴⁵ -(1.42×10 ⁴⁴)Snow +(5.56×10 ⁴⁴)Temp]
Variables (p-value)	Snowfall (0.009) Temperature (0.021)	Snowfall (0.039) Temperature (0.016)	Snowfall (0.038) Temperature (0.016)	Snowfall (0.041) Temperature (0.008)

났으며 값이 클수록 모형의 적합함을 나타내는 F값 역시 9.937로 가장 높고, 유의수준이 0.001로 신뢰수준 95%에서 적합한 모형으로 나타났다. 또한, 실제 강설과 주행속도의 관계는 강설량이 증가할수록 주행속도가 감소하며, 어느 한계치 이상에서 더 이상 감소하지 않을 것으로 예상된다. 따라서 선형의 관계가 아닌 비선형의 관계를 가질 것으로 판단되므로 여러 모형들 중 Exponential 함수가 가장 적절한 모형이라고 간주 할 수 있다. Exponential 함수의 기본식은 Eq. (1)과 같으며, 본 연구에서는 Eq. (1)과 실제 기상 및 교통 데이터를 활용하여 강설량과 기온에 따른 주행속도의 관계를 함수식으로 도출하였다.

$$y = \alpha \exp(\beta_1 x_1 + \beta_2 x_2) \quad (1)$$

여기서, y : 주행속도(km/h)
 x_1 : 강설량(cm), x_2 : 기온(°C)
 α : 상수
 β_1, β_2 : 회귀계수

강설량 및 기온에 따른 주행속도의 관계를 나타내는 실제자료는 Fig. 4와 같으며, 설정된 분석 영향권의 속도를 가장 적절한 모형으로 나타난 Exponential 함수를 이용한 회귀분석을 실시하였다. 주행속도에 대하여 회귀분석 결과 Table 6과 같이 R²는 약 0.417로 산출되어 약 42%의 설명력을 가지는 것으로 분석되었다. 회귀분석의 기본가정은 독립변수들은 서로 독립적이라는 가정이 존재한다. 이에 본 연구에서는 각 변수간의 독립성을 검토하기 위하여 Durbin-Watson 분석을 실시하였다. Dubin-Watson 계수는 데이터의 자기 상관을 판정하는 도구로 2에 가까울수록 각 변수들은 서로 독립적이라고 판단한다. 분석결과는 Dubin-Watson 계수가 1.947로 산출되어 각 변수들간에는 자기상관이 없으

며 서로 독립적으로 판단된다. 또한, 회귀모형이 통계적으로 유의성을 갖는지 검정하기 위하여 분산분석을 실시한 결과 F값이 9.94, 유의확률 0.001로 유의수준 0.05보다 작으므로 신뢰수준 95%에서 회귀식은 통계적으로 유의한 것으로 분석되었다. 그리고 도출된 회귀식을 신뢰성 판단을 위하여 다중공선성 분석을 실시하였으며, 다중공선성이 커지게 되면 도출된 모형의 회귀계수를 신뢰할 수 없게 된다. 일반적으로 다중공선성 판단에는 공차한계값을 이용하며 공차한계값의 최대값은 1.0이며 값이 클수록 다중공선성이 낮다고 판단한다. Table 7에서와 같이 본 연구의 공차한계값은 0.919로 분석되어 본 연구의 결과는 다중공선성의 문제가 없다고 검증되었다. 마지막으로 각각의 회귀계수에 대한 유의성을 검증하기 위하여 t값을 활용한다. 분석결과 속도에 대한 강설량 및 온도에 대한 t값의 유의확률이 각각 0.009, 0.021로 유의수준 0.05보다 작으므로 95% 신뢰수준에서 유의하므로 적절한 모형이라고 판단된다. Table 6과 Table 7의 결과를 이용하여 Eq. (2)와 같은 회귀식이 도출되었다.

Table 6. ANOVA Results

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Regression Model	0.006	2	0.003	9.937	0.001

- R² : 0.417 - Std. Error : 0.018
 - Durbin-Watson : 1.947

Table 7. Regression Results

	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.	Collinearity Statistics	
	B	Std. Error	Beta			Tolerance	VIF
(Const.)	4.622	0.007		664.6	0.000		
Snow	-0.004	0.001	-0.453	-2.8	0.009	0.919	1.09
Temp.	0.004	0.002	0.395	2.5	0.021	0.919	1.09

$$Speed=101.70\exp(-0.004Snow+0.004Temp) \quad (2)$$

여기서, Speed : 강설량에 따른 자유속도(km/h)

Snow : 신적설량(cm)

Temp : 기온(°C)

강설량 및 기온과 주행속도와의 관계는 Eq. 2에 따르면 강설량은 주행속도에 음의 상관관계를 가지며, 기온은 양의 상관관계를 가지는 것으로 나타났다. 또한 기상 조건 변화에 따른 주행속도는 강설량 1cm 증가할 때 주행속도는 약 0.4% 감소하며, 강설 중 기온이 1°C 증가할 때 주행속도는 약 0.4% 증가하는 것으로 도출되었다. 강설량에 따른 교통성능함수의 분석결과 주행속도는 강설량, 기온 모두에 대하여 영향을 받는 것으로 분석되었다. 강설에 의하여 도로환경조건이 변함에 따라 차량의 주행행태가 영향을 받아 속도가 감소하며, 강설 중 기온이 높아질 경우 주행속도를 저해시키던 요소인 눈이 녹음으로써 주행속도가 회복되는 것으로 판단된다. 분석결과를 요약하면 주행속도는 강설에 의해 도로 환경조건이 변화하여 감소하며 기온이 증가할 경우 속도가 다시 회복되는 것으로 나타났다.

5. 결론

본 연구는 서해안고속도로(고창IC~선운산IC)를 대상으로 강설량수준에 따른 주행속도의 평균 및 표준편차의 변화에 대하여 분석하였다. 또한, Exponential Decay Function을 이용하여 기상조건에 따른 교통성능의 변화에 대하여 회귀분석을 활용하여 함수식으로 도출하였다.

기상조건에 따른 주행속도 평균 및 표준편차 분석결과 맑은 날씨를 기준으로 평균주행속도는 '하' 수준의 강설량에서 6.7%, '중' 수준에서 9.0% 감소하는 것으로 나타났으며, '상' 수준의 강설량에서는 약 12.8% 감소하는 것으로 분석되었다. 반면 속도의 표준편차는 강설량에 따라 맑은 날씨보다 '하' 수준에서 8.7%, '중' 수준에서 33.6% 증가하는 것으로 분석되었으며, '상' 수준에서는 114.7%가 증가하는 것으로 분석되었다. 이는 차량 및 운전자의 조건이 다르기 때문일 것으로 판단된다.

기상조건에 따른 교통성능함수는 주행속도를 종속변수로, 독립변수를 강설량 및 기온으로 설정하여 회귀분석을 활용하여 관계를 도출하였다. 도출된 함수식은 신

뢰수준 95%에서 통계적으로 유의한 것으로 분석되었으며, 도출된 식은 강설량 1cm 증가할 때 차량의 주행속도는 약 0.4% 감소하고 기온 1°C 증가할 때 주행속도가 약 0.4% 증가되는 것으로 분석되었다.

본 연구결과를 활용할 경우, 강설에 의한 기상변화에 따른 교통성능을 예측함으로써 적절한 제설장비 투입시기 및 우선순위 선정, 제설제의 적정 사용량과 같은 동절기 도로관리 전략 계획 등의 교통운영전략 수립을 위한 기초자료로 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

본 연구를 발전시키기 위해서는 다음과 같은 사항에 대한 추가연구가 필요하다. 첫째, 정확한 분석을 위해서는 인접한 기상대의 기상자료가 아닌 도로에의 적설량과 같은 자료를 수집할 수 있는 도로기상정보체계(RWIS) 등을 통하여 수집된 자료를 이용한 분석이 필요하다. 둘째, 본 연구에서는 강설량 및 기온과 교통성능과의 관계만을 고려하였다. 그러나 실제 교통상황에서는 강설량뿐만 아니라 시인성, 노면온도, 도로기하구조 등의 변수에 의해서도 영향을 받을 수 있을 것으로 판단되므로 이에 대한 보다 미시적인 연구가 필요할 것이다. 마지막으로 본 연구는 호남지방의 연속류를 중심으로 분석을 진행하였으나, 일반적인 사용을 위해서는 각 지역별 도로종류별 분석이 필요하다.

감사의 글

본 연구는 국토해양부 교통체계효율화사업의 연구비 지원(10-교통체계-미래-05)에 의해 수행되었습니다.

References

- Brodsky, Veinoglou and Bernard Hakkert, 1988, The Effect of weather on the relationship between flow and Occupancy on freeways, *Transportation Research Record 1194*, pp55~63.
- Chang Su Park, Jin Hwan Jang, 2004, A Study on Developing Weather Adjustment Factor Due to Snowfall in Estimating AADT, *Seoul Studies*, Vol. 5, No. 2, pp.68~79.
- Hanbail R.M. and D.A Kuemmel, 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, Scotland, *Journal of Transport Geography*, vol.7, Issue 3, pp.209~213.
- Keay K. and Simmonds I., 2005, The association of rainfall and other weather variables with road traffic volume in Melbourne, Australia, *Accident Analysis and Prevention*, vol.37,

- pp.109~124.
- Khattak, Asad J., Schofer, Joseph L., Koppelman, Frank S., 1993, Commuters' enroute diversion and return decisions: Analysis and implications for advanced traveler information systems, *Transportation Research Part A*, Vol. 27, Issue 2, pp.101~111.
- Knapp K.K. and Smithson L.D., 2000, Winter Storm Event Volume Impact Analysis Using Multiple-Source Archived Monitoring Data, *Journal of the Transportation Research Board*, vol.1700, pp.10~16.
- L. Shi, Y. Cheng, J. Jin, B. Ran, and X. Chen, 2011, Effects of Rainfall and Environmental Factors on Traffic Flow Characteristics on Urban Freeway, *Transportation Research Board Annual Meeting 2011*, Paper #11-3345
- Manish Agarwal, Thomas H. Maze, Reginald Souleyrette, 2005, *Impact of weather on urban freeway traffic flow characteristics and facility capacity*, Iowa state university
- Road Traffic Authority, 2011, *Traffic Accident Report 2010*. www.road.re.kr. Accessed June 16.
- Road Traffic Authority. *Traffic accident analysis system*. <http://taas.koroad.or.kr/>
- Sandeep Datla, Satish Sharma, 2007, *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 Economique), pp.21.
- Seung-Kirl Baek, So-Young Jeong, Tea-Kyung Lee, Jai-Mu Won, 2010, Analysis of Snowing Impacts on Freeway Trip Characteristics Using TCS Data, *The Journal of Korean Institute of Intelligent Transport Systems*, Vol. 9, No. 4, pp. 68~79.
- The Ministry of Land, Transport, and Maritime Affairs, 2002, *A Guideline for Roadway Snow Removal in South Korea*. Publication MLTM, Korea.
- The Ministry of Land, Transport, and Maritime Affairs, 2001, KHCM
- The Ministry of Land, Transport, and Maritime Affairs, 2010, *R&D Project Planning of Development of Multipurpose Snow Removal Vehicle-Final Report*. (국토해양부, 2010, 다목적 제설장비 개발 기획연구(최종보고서))
- Thomas H. Maze, Manish Agarwal, Garrett Burchett, 2005, *Weather Matters to Traffic Demand, Traffic Safety, and Traffic Flow*, Iowa state university
(접수일 : 2011. 9. 17 / 심사일 : 2011. 9. 21 / 심사완료일 : 2012. 6. 1)