Atmosphere. Korean Meteorological Society
Vol. 31, No. 2 (2021) pp. 157-170
https://doi.org/10.14191/Atmos.2021.31.2.157
pISSN 1598-3560 eISSN 2288-3266

연 구 논 문
(Article)

강원도에서 적설에 의한 일반국도 교통 특성 분석

조은수[1] · 권태영[2]* · 김현욱[1] · 김규랑[1] · 김승범[1]
[1]국립기상과학원 재해기상연구부, [2]강릉원주대학교 대기환경과학과

(접수일: 2021년 1월 5일, 수정일: 2021년 4월 5일, 게재확정일: 2021년 4월 6일)

Analysis of Traffic Characteristics of General National Roads by Snowfall in Gangwon-do

Eun Su Jo[1], Tae-Yong Kwon[2]*, Hyunuk Kim[1], Kyu Rang Kim[1], and Seung Bum Kim[1]
[1]High Impact Weather Research Department, National Institute of Meteorological Sciences, Gangneung, Korea
[2]Department of Atmospheric Environmental Sciences, Gangneung-Wonju National University, Gangneung, Korea

(Manuscript received 5 January 2021; revised 5 April 2021; accepted 6 April 2021)

Abstract To investigate the effect of snowfall on the traffic of general roads in Gangwon-do, case analysis was performed in Gangneung, Pyeongchang, and Chuncheon using ASOS (Automated Synoptic Observing System) snowfall data and VDS (Vehicle Detector System) traffic data. First, we analyzed how much the traffic volume and speed decrease in snowfall cases on regional roads compared to non-snow cases, and the characteristics of monthly reduction due to snowfall were investigated. In addition, Pearson correlation analysis and regression analysis were performed to quantitatively grasp the effect of snowfall on traffic volume and speed, and sensitivity tests for snowfall intensity and cumulative snowfall were performed. The results showed that the amount of snowfall caused decrease both in the traffic volume and speed from usual (non-snowfall) condition. However, the trend was different by region: The decrease rate in traffic volume was in the order of Gangneung (17~22%), Chuncheon (14~17%), and Pyeongchang (11~14%). The decrease rate in traffic speed was in the order of Chuncheon (9~10%), Gangneung (8~9%), Pyeongchang (5~6%). No significant results were found in the monthly decrease rate analysis. In all regions, traffic volume and speed showed a negative correlation with snowfall. It was confirmed that the greater the amount of traffic entering the road, the greater the slope of the trend line indicating the change in snowfall due to the traffic volume. As a result of the sensitivity test for snowfall intensity and cumulative snowfall, the snowfall information at intervals of 6-hours was the most significant.

Key words: Gangwon snowfall, traffic, impact-based forecast, correlation and regression analyses

1. 서 론

최근 기상기술의 발전으로 단기예보 정확도가 향상되었음에도 불구하고 기후변화로 인한 복잡·대형화되는 기상재해로 사회·경제적 피해는 지속적으로 증가하고 있다. 이에 현대사회는 기상예보 뿐만 아니라, 기상이 초래할 수 있는 잠재적인 사회·경제적 위험의 유형, 강도 및 취약계층에 대한 정보를 요구하고 있다. 세계기상기구(WMO)는 기상정보 분석을 통해 지역, 노출 대상 등의 특성을 반영한 위험 정보를 생산하는 영향예보(Impact-based Forecasts)의 필요성을 인식하여 영향예보 서비스 가이드라인(WMO, 2015)을 발간하였고, 각 국가 부처 및 기관의 협조를 강조하

*Corresponding Author: Tae-Yong Kwon, Department of Atmospheric Environmental Sciences, Gangneung-Wonju National University, 7 Jukheon-gil, Gangneung 25457, Korea.
Phone: +82-33-640-2323, Fax: +82-33-644-2324
E-mail: tykwon@gwnu.ac.kr

고 있다. 그리고 각 국의 기상예보기관에서는 이러한 추세를 반영한 정책들을 수립하고 있으며 관련연구가 활발히 진행되고 있다(KISTEP, 2019).

세계 추세에 맞추어 한국은 2017년 영향예보에 관련한 기상법(제5장 제13조)을 신설하고 기상청을 주축으로 범정부 차원에서 영향예보 기반을 구축, 기술개발 및 고도화를 진행하고 있다. 2019년에는 폭염 정규 서비스, 2020년에는 한파 정규 서비스를 시작하였고, 이후 태풍, 호우, 대설 등의 단계적 확대를 계획하고 있다. 본 연구에서는 위 배경에 의거하여 대설에 대한 지역 맞춤형 서비스 일환으로 연구를 진행하고자 한다.

강원도에서 적설에 의한 영향은 적설 하중에 따른 시설물 붕괴 및 산사태, 선박 침몰, 항공 결항, 낙상사고, 교통사고 등의 1차적 피해를 비롯하여, 시설물 붕괴에 의한 가축 폐사, 산사태에 의한 등산사고, 미제설에 의한 휴업과 마을 고립, 그리고 이로 인한 경기악화 등 간접적인 2차, 3차 피해까지 헤아릴 수 없을 정도로 많은 분야에 연관되어 있다. 이중 1990년부터 2016년까지 신문보도 핵심어 분석에 의하면, 강원도에서 적설에 의한 대부분의 영향은 '제설' 내용 102건을 포함하여, 80% 이상이 '도로교통' 내용과 직·간접적으로 연관(Fig. 1)되어 있다고 보고하였다(GROM, 2018). 그리고 '2018년 평창 동계올림픽' 개최 대비를 위한 강원도 도로제설 관련 시·군 담당부서 및 유관기관 자문결과, 아직 지역적 교통과 기상상황 연계 및 도로 상황에 대한 대처방안이 미비하며, 적설시간대에 따른 도로교통 변화 정보가 시급하다고 하였다. 또한 지역적인 도로교통조건을 예측하고, 도로제설 우선순위를 미리 설정할 수 있다면 제설장비의 효율성을 보다 높일 수 있을 것이라 하였다(GROM, 2017). 따라서, 본 연구는 적설에 의한 강원도의 피해경감 및 추후 도로교통 변화예측 서비스 발전과 대설 영향예보에 기여하고자, 강원도 적설이 도로에 미치는 영향을 분석하였다.

적설이 도로교통에 미치는 영향과 관련하여 국내·외 적으로 적지 않은 연구가 이루어졌고, 교통량과 주행속도를 감소시킨다는 것은 이미 잘 알려져 있다(Hassan and Barker, 1999; Knapp and Smithson, 2000; Agarwal et al., 2005; Kumar and Wang, 2006; Datla and Sharma, 2008; Baek et al., 2010; Hong et al., 2012; Son et al., 2013; Sohn and Kim, 2014; Roh et al., 2014; Roh, 2020). 하지만 선행연구들의 분석에서 정량적 결과는 연구마다 상이하다. Roh and Sharma (2018)은 지방도시에서 트럭의 경우, 눈의 영향을 받지 않는다고도 하였다. 이는 지역마다 적설강도, 적설지속시간, 적설 외 기상상황과 같은 기후적 요소가 다르고 도로의 종류, 인구변화, 운전자의 심리 등 다양한 요인이 지역적인 특성으로 작용하기 때문이다. 즉 지역적 특징이 간섭하기 때문에 기상요소와 도로교통의 관계는 지역세부적으로 분석해야 한다(Lee, 2015). 특히 강원도는 태백산맥과 동해에 의한 지형효과 때문에 지역에 따라 영향, 즉 위험 및 취약성 정도가 상이하다. 그래서 지역에 맞는 기상 정보와 함께 영향정보를 전달하는 것이 중요하다.

따라서 본 연구에서는 선행적으로 강원도 지역을 태백산맥을 기준으로 해안, 산지, 내륙지역으로 나누어 일반국도를 중심으로 겨울철 적설현상에 따른 교통상황 변화를 집중 분석하고 그 경향성을 살피려 한다. 이때, 각 지역 일반국도에서 강설이 교통에 미치

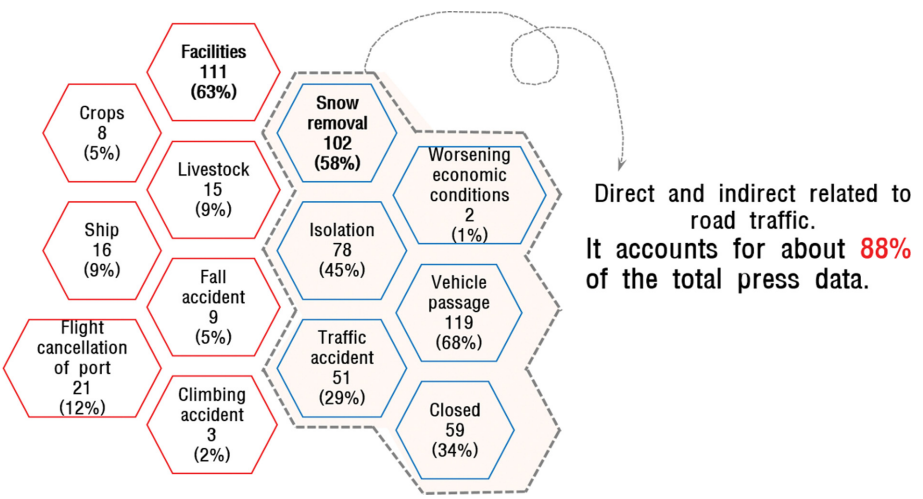

Fig. 1. Keyword classification of newspaper article related to the impact of snowfall in Gangwon-do (GROM, 2018).

는 영향을 살피기 위해서는 해당지역에 기상(적설)자료와 교통자료 모두가 존재해야 한다. 이를 고려하여 신적설 관측자료가 존재하는 지역인 강릉(해안), 평창(산지), 춘천(내륙)으로 연구지역을 설정하고, 해당 지역에서 각각 7번국도, 6번국도, 46번국도를 연구사례 대상지점으로 선정하였다.

2. 자료 및 방법

적설자료는 기상청 ASOS(Automated Synoptic Observing System)의 강릉(북강릉: 37.80456°, 128.85535°), 평창(대관령: 37.67713°, 128.71834°), 춘천(춘천: 37.90262°, 127.73570° & 북춘천: 37.94738°, 127.75443°)지점 자료를 이용하였다. 이때 춘천지점은 2016년 10월 1일에 춘천지점에서 북춘천지점으로 관측소를 이동하였으므로, 북춘천과 춘천 자료를 합하여 사용하였다.

본 논문에서는 '적설(snow depth)'과 '신적설(fresh snow depth)' 용어를 한국 기상청에서 사용하는 적설 정의를 참고하여 서술하였다. 적설이란 눈이 지면에 쌓인 깊이를 말하고, 시간과 관계없이 관측시에 실제 지면에 쌓여있는 눈의 깊이 전부를 뜻한다. 신적설이란 어떤 정해진 시간(3시간 또는 24시간 주기)에 내려 쌓인 눈의 높이이다. 즉, 신적설 자료는 관측 주기에 따라 쌓인 눈을 초기화하는 작업이 요구되기에 유인관측소(ASOS지점)에서만 자료가 생산된다. 이후 내용에서 언급할 '적설'이란 단어는 모두 신적설을 의미하며, 그렇지 않은 경우에는 따로 'snow depth'를 추가 표기하였다.

사용한 적설자료는 1, 3, 6, 24시간 신적설 자료이다. 실제로 1, 6시간 단위의 신적설 자료는 관측하지 않으므로 자체적으로 산출하였다. 1시간 신적설 자료는 ASOS 지점에서 생산되는 1시간 적설 자료를 이용하여 기준시간대의 적설과 이전 시간대의 적설 차이로 산출했으며, 이때 적설차가 0 이하면 무적설(non-snowfall), 0초과면 신적설로 정의하였다. 6시간 신적설 자료는 3시간 신적설 자료를 이용하여 기준시간대의 신적설과 이전 시간대의 신적설의 합으로 산출하였다.

교통자료는 국도관리청 도로교통센터에서 제공받은 일반국도 VDS (Vehicle Detector System) 교통자료를 사용하였다. 연구에 사용한 VDS 지점은 '강릉(7번국도)'의 주문진사거리(JI), 동덕교차로(DI), 사천육교(SP), 과학단지입구(GE). '평창(대관령; 6번국도)'의 소금강입구(SE), 오대산농원(OF). '춘천(46번국도)'의 정족리(JJ), 학곡사거리(HI)이다. 연구지점은 각 지역의 시가지에 가까운 곳(국도기준)으로 선정하였다. 해당 자료는 시간단위의 평균 교통량(veh h^{-1})과 평균 주행속도(km h^{-1}) 정보를 담고 있다. 한 지점에서는 두 방향의 자료가 생산(강릉 자료의 예: 속초방향, 삼척방향)되는데, 본 연구에서는 차량진행 방향을 분리하지 않고 합산하여 사용하였다.

위 자료를 이용하여 VDS 지점의 일(24시간)평균 및 시간(1, 3, 6시간)평균 교통량(veh h^{-1})과 주행속도(km h^{-1})를 산출하고, 적설 사례와 무적설 사례로 분류하여 시간해상도(1, 3, 6, 24시간; 단위는 모두 veh h^{-1}, km h^{-1}로 동일) 별로 자료를 재구축(DB; 적설자료와 교통자료 시간일치)하였다. 여기서, 적설 사례는 각각의 시간해상도에서 신적설이 0 cm 초과일 때로 정의하였다.

신적설 자료는 시간해상도에 따라 '하나의 시간대'에서 의미하는 적설강도와 누적적설 정보가 다르다. 시간 해상도가 짧은 신적설 자료의 경우, 단시간에 대한 적설강도 정보는 잘 드러나지만, 장시간에 대한 누적적설 정보가 미약하다. 반대로 시간 해상도가 긴 신적설 자료는 장시간에 대한 누적적설 정보가 잘 드러나지만, 단시간에 대한 적설강도 정보는 미약하다. 즉, 신적설 자료의 시간 해상도가 늘어날수록 적설강도 정보가 줄어들고 그만큼 누적적설 정보가 늘어난다. 따라서 이러한 신적설 자료 특성을 고려하여, 여러 시간해상도(1, 3, 6, 24시간)에서 신적설 정보에 따른 교

Table 1. Vehicle Detector System (VDS) observation sites and data periods used in this study.

Route 46 (inland)		Route 6 (mountainous area)		Route 7 (coastal)	
point	date	point	date	point	date
Jeongjok-ri (JJ)	2011.12~ 2019.03	Sogeumgang Entrance (SE)	2011.12~ 2015.01	Jumunjin Intersection (JI)	2015.01~ 2019.03
Hakgok Intersection (HI)	2011.12~ 2019.03	Odaesan Farm (OF)	2011.12~ 2015.01	Dongdeok Intersection (DI)	2015.01~ 2019.03
				Sacheon Pedestrian overpass (SP)	2015.01~ 2019.03
				Gwahakdanji Entrance (GE)	2015.01~ 2019.03

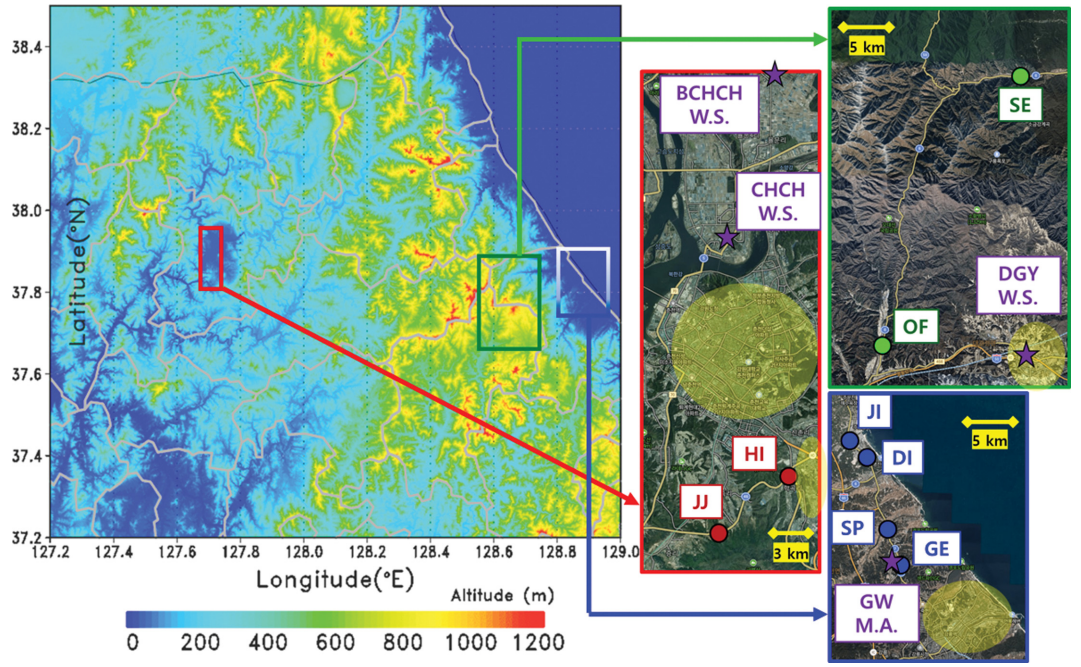

Fig. 2. ★ and ● indicate the location of ASOS snow station and VDS observation sites, respectively. Where, the red box is in Chuncheun (inland), the green one is in Daegwallyeong (mountainous area), and the blue one is in Gangneung (coastal). The yellow translucent areas represent urban areas of each area. And the yellow line is the map scale.

통영향(교통량과 주행속도의 변화와 민감도)을 분석할 필요가 있다. 이러한 신적설의 시간분류적 연구방향은 교통변수(주행속도와 교통량)가 어느정도의 적설강도와 누적적설에 민감한지 판단할 수 있으며, 추후 예보적 차원에서 발표 시간간격 지표에 도움될 수 있다.

분석은 겨울기간(1, 2, 3, 12월)을 대상으로 적설자료와 교통자료가 모두 존재하는 기간에 대해서 실시하였으며, 강릉과 평창은 약 4년, 춘천은 약 8년간의 자료를 사용하였다. 연구자료의 자세한 내용은 Table 1과 Fig. 2에 명시하였다. Fig. 2에서 춘천 VDS 지점은 JJ, HI 순으로, 평창 VDS 지점은 SE, OF 순으로, 강릉 VDS 지점은 JI, DI, SP, GE 순으로 시가지(Fig. 2의 노란색 반투명 지역)에서 거리가 먼 것을 확인할 수 있다.

구축된 DB의 일평균 교통량과 주행속도를 이용하여, 각 지역에서 적설시에 무적설과 비교하여 얼마나 감소하는지 분석하였고, 나아가 적설에 의한 월별 감소경향 특징을 살폈다. 그리고 일 신적설에 따른 일평균 교통량과 주행속도의 변화경향을 살피고, 적설이 교통량 및 주행속도에 미치는 영향력을 정량적으로 파악하기 위해 시간해상도 별 Pearson 상관분석 및 회귀분석을 실시하였다.

3. 결 과

3.1 적설시, 일평균 교통량과 주행속도 변화

3.1.1 교통량

Figure 3은 적설과 무적설에 따른 월별 일평균 교통량(veh h^{-1})을 나타낸 막대 그래프이다. 여기서 x축은 월, y축은 각 월에 대한 교통량(veh h^{-1})의 일평균이다. 회색막대는 무적설, 검은색막대는 적설사례를 나타낸다. 회색선은 무적설시 교통량 평균선이고, 검은색선은 적설시 교통량 평균선이다. 무적설시, 전체 교통량 평균은 춘천의 JJ, HI이 각각 145 veh h^{-1}, 175 veh h^{-1}. 평창의 SE, OF이 각각 21 veh h^{-1}, 47 veh h^{-1}. 강릉의 JI, DI, SP, GE이 각각 248 veh h^{-1}, 383 veh h^{-1}, 526 veh h^{-1}, 641 veh h^{-1}으로 강릉이 교통량이 가장 높았으며, 평창이 가장 낮은 교통량을 보였다. 적설시에는 모든 지역에서 무적설 사례보다 평균 교통량이 감소하는 것을 확인할 수 있었다. 강릉은 무적설에 비해 약 19% (JI: 20%, DI: 22%, SP: 17%, GE: 17%) 교통량 감소율을 보이면서 춘천과 평창에 비해 높은 감소율을 보였다. 춘천은 JJ가 17%, HI가 14% 감소율을 보였고, 평창은 SE와 OF가 각각 11%, 14% 감소율을 보이면서 가장 적은 감소율을 보였다. 이는 평창의 교통량은 외부차량 유입이 상대적으로 적고 생

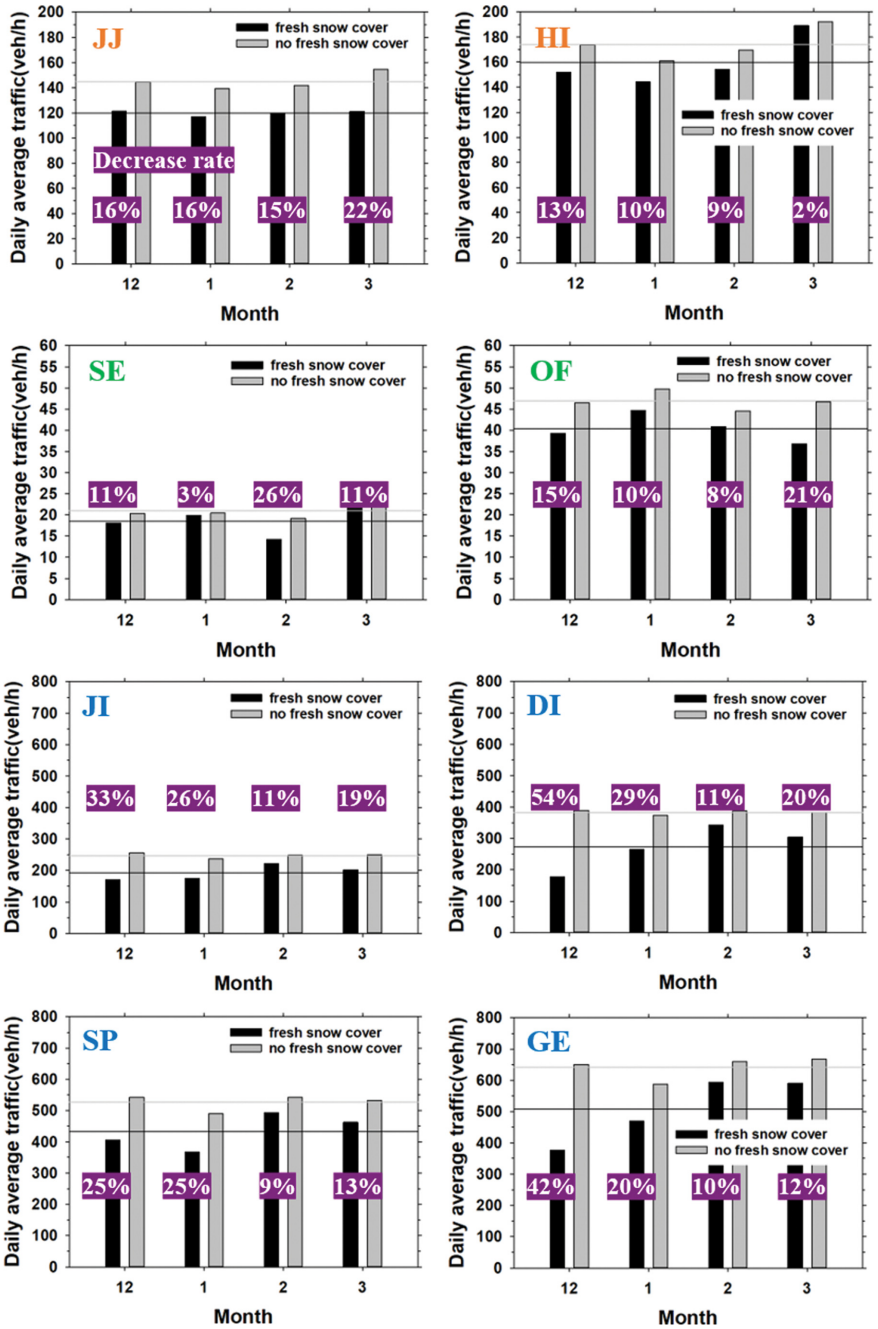

Fig. 3. Bar graphs showing the average daily traffic volume per month at each VDS site. where, the black bars indicate snowfall, and the gray ones indicate non-snowfall. The black and gray lines show the average levels of the total traffic volume for snow and non-snow cases, respectively. The purple box indicates the decrease rate in snowfall cases.

업에 관련된 업무차량과 대중교통의 비중(고정차량 비중)이 높기 때문으로, 적설시에도 무적설시와 비교하여 통행량의 변화가 적기 때문으로 판단된다. 월별 감소율은 Fig. 3에 보라색 상자(reduction rate)로 수치적으로 명시하였다. 전체적으로 뚜렷한 월별 특징은 찾아보기 어려웠으나, 대체로(HI, JI, DI, SP, GE) 12, 1

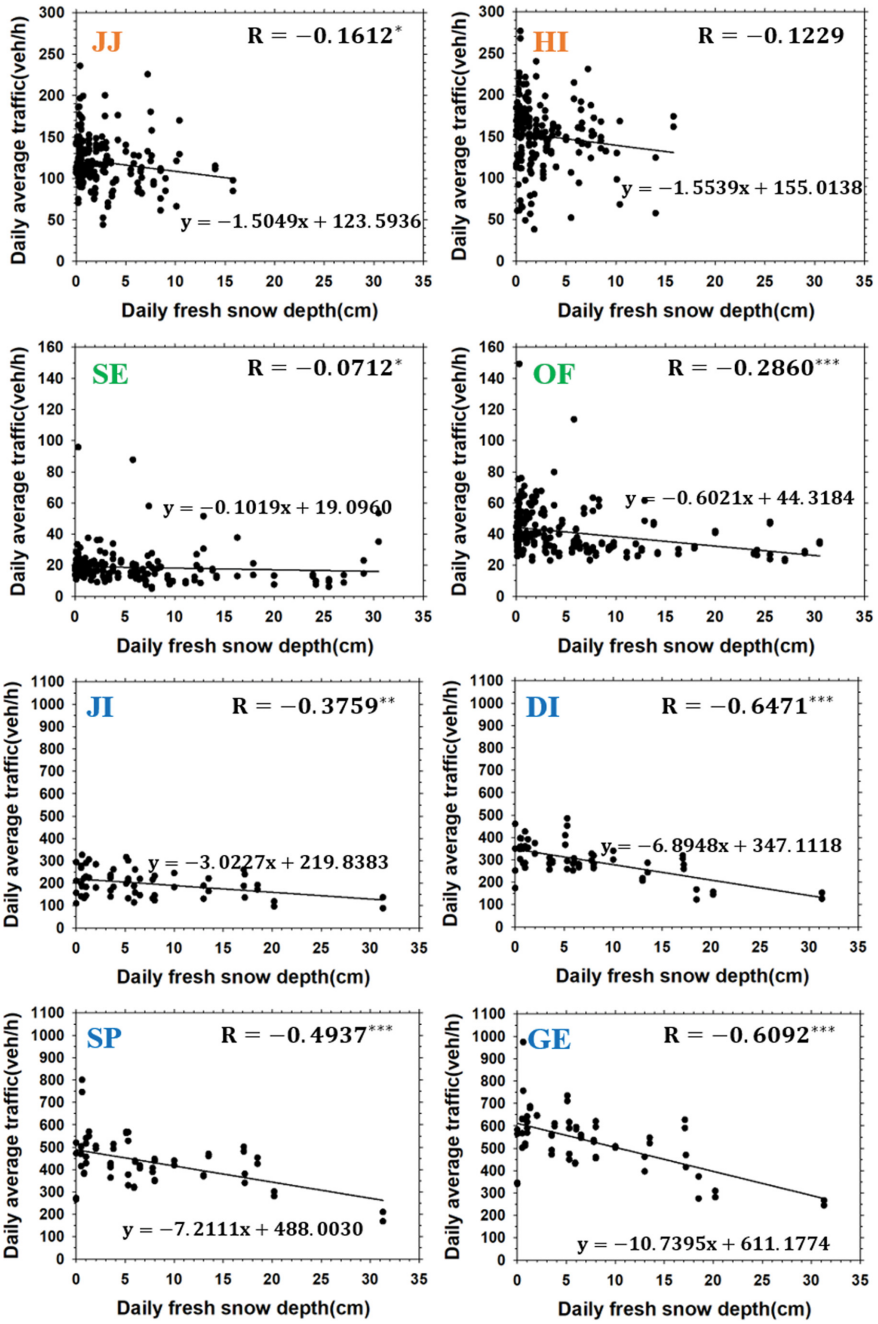

Fig. 4. The average decrease in daily traffic volume according to the amount of snowfall at each VDS site. The correlation coefficients and linear regression equations are shown (* $p \le 0.05$, ** $p \le 0.01$, *** $p \le 0.001$).

월에 큰 감소율을 보였고 2, 3월에 상대적으로 낮은 감소율을 보였다.

Figure 4는 일 신적설에 따른 일평균 교통량의 변화를 1:1 대응 산점도로 나타낸 것이다. 모든(춘천, 평창, 강릉) 지역에서 적설과 교통량은 음의 상관성을 보였다. 춘천은 JJ와 HI에서 적설에 따라 교통량은 감소하지만, 낮은 상관성(JJ: R = 0.1612*, HI: R = 0.1229; * $p \le 0.05$, ** $p \le 0.01$, *** $p \le 0.001$)과 약 1.5의 선

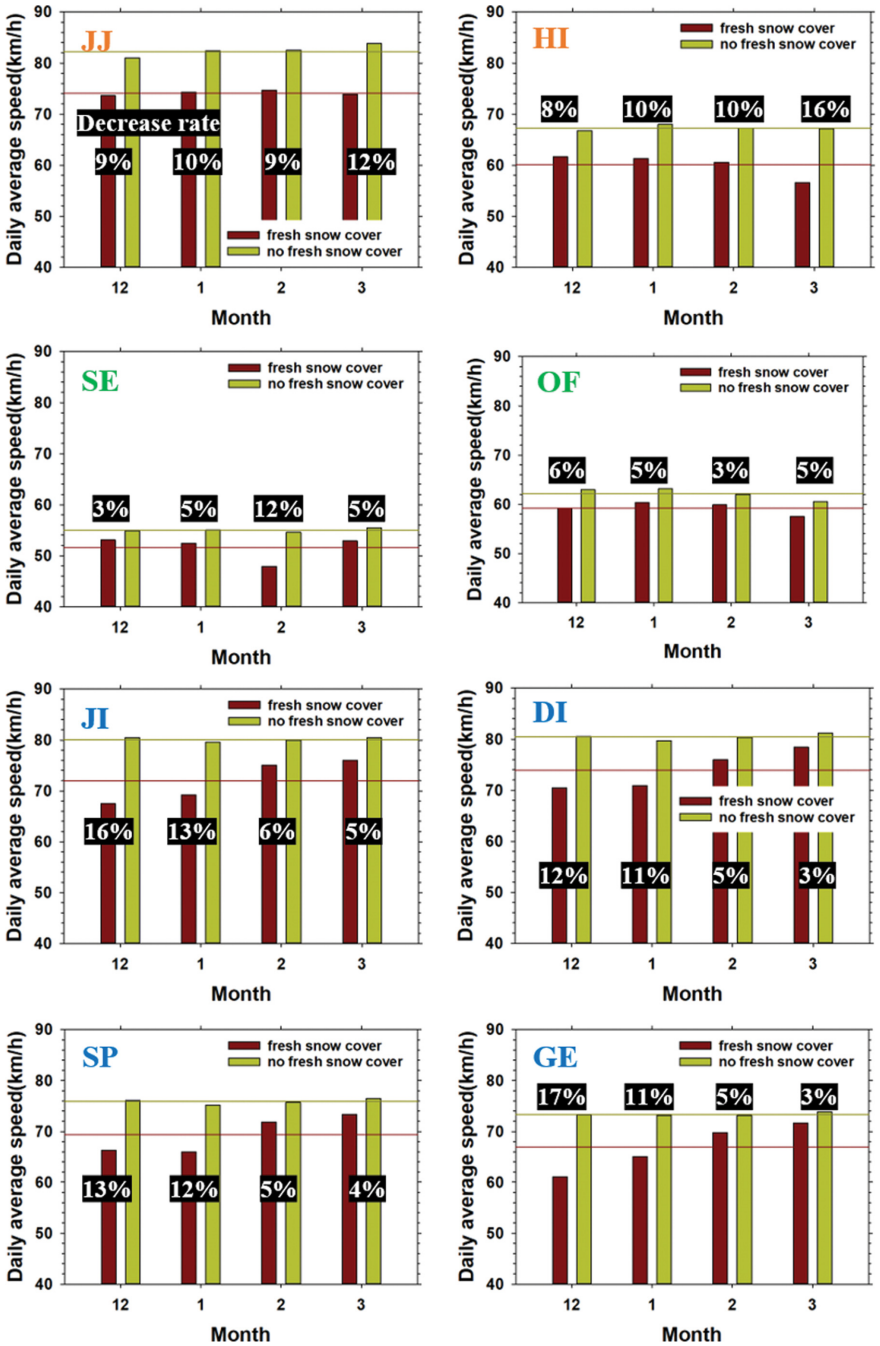

Fig. 5. Bar graphs showing the average daily traffic speed per month at each VDS site. where, the red bars indicate snowfall, and the yellow ones indicate non-snowfall. The red and yellow lines show the average levels of the total traffic speed for snow and non-snow cases, respectively. The black box indicates the decrease rate in snowfall cases.

형회귀식 감소 추세선 기울기(α)를 보였다. 이때, 춘천은 지역별 적설 특성상 대부분 사례가 일 신적설이 5 cm 이하임을 확인할 수 있다. 강릉은 상대적으로 교통량이 많고(Fig. 4 각 지점의 y축 범위 참고) 높은 음의 상관성(JI: R = 0.3759**, DI: R = 0.6471***, SP: R = 0.4937***, GE: R = 0.6092***)을 확인할 수 있었

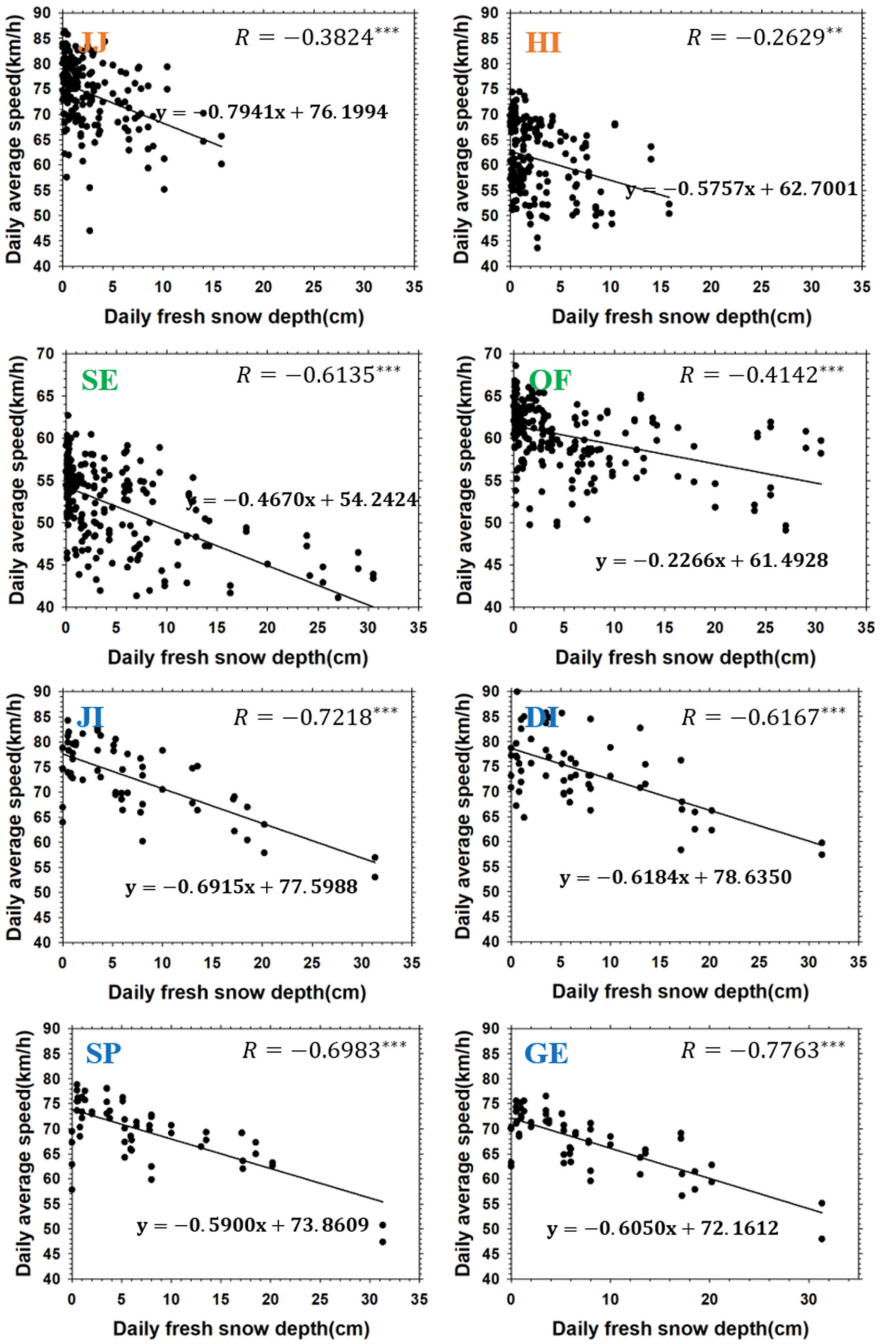

Fig. 6. The average decrease in daily traffic speed according to the amount of snowfall at each VDS site. The correlation coefficients and linear regression equations are shown (* $p \le 0.05$, ** $p \le 0.01$, *** $p \le 0.001$).

으며, JI에서부터 차례대로 DI, SP, GE 순으로 α가 증가(차례대로 3.0227, 6.8948, 7.2111, 10.7395)하였다. 즉, 강릉시내 시가지에 가까울수록(Fig. 2 참고) 적설에 따른 교통량 감소율이 증가하였다. 평창은 상대적으로 교통량이 가장 적었고 낮은 음의 상관성(SE: R = 0.0712*, OF: R = 0.2860***) 및 감소율(α; SE: 0.1019, OF: 0.6021)을 확인할 수 있었다. 이때, 강릉과 마찬가지로 평창내 시가지에 가까울수록 α는 증가했다.

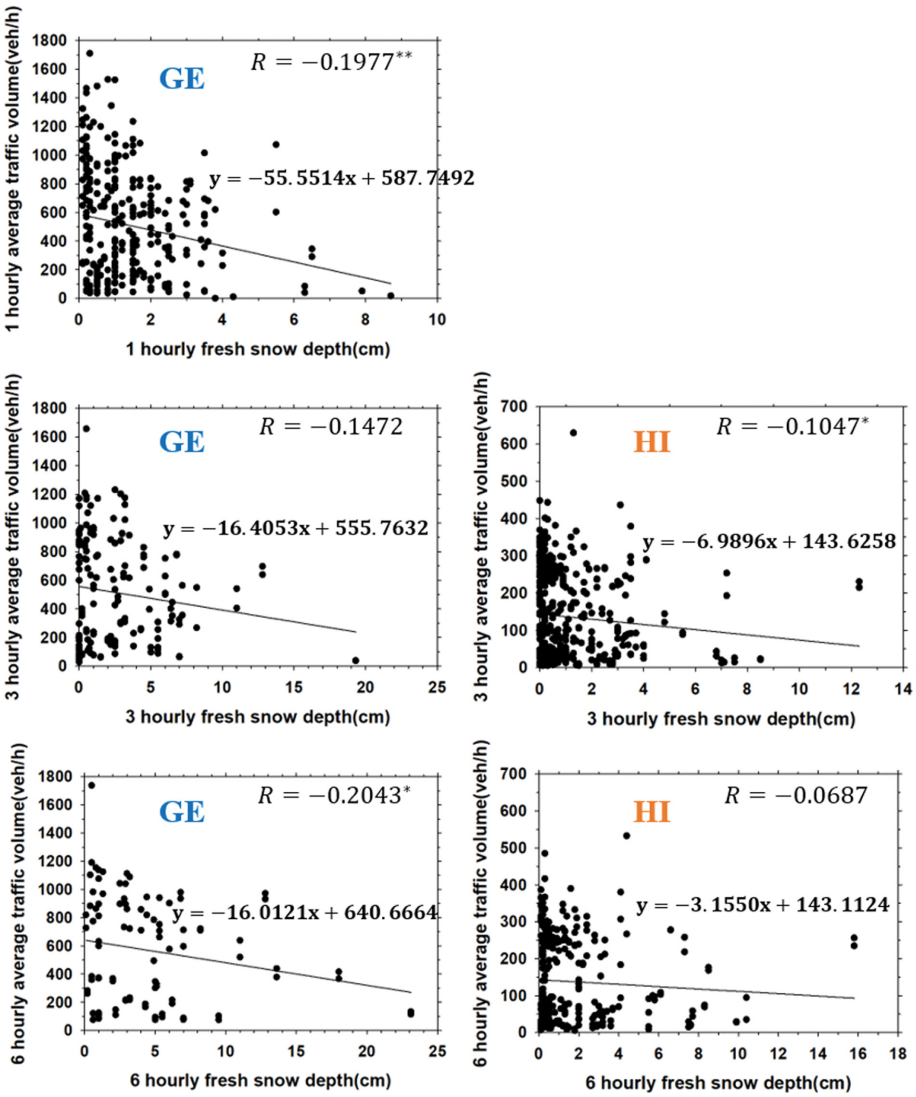

Fig. 7. Average decrease in traffic volume according to the fresh snow depth by time resolution (1-hourly, 3-hourly, and 6-hourly) in GE (Gwahakdanji Entrance) and HI (Hakgok Intersection). Correlation coefficients and linear regression equations are shown (* $p \le 0.05$, ** $p \le 0.01$, *** $p \le 0.001$).

이러한 결과는 선행연구 Kim and Oh (2015)가 휴가철, 주말 등 하루 중 고정차량 이외의 차량(이후, 유동차량이라 칭함) 유입 접근이 쉬운 지점의 경우에는 강우의 영향을 더 많이 받으며, 교통지표를 분석함에 있어 도로유형을 관광부, 지방부, 도시부로 그룹을 나누어 접근한 것과 같은 맥락이다. Roh (2020)는 차량의 종류에 따라 강설과 저온에 따른 교통량 변화연구를 진행한 바 있다. 해당 연구에 따르면 지역도시에서 승용차는 눈에 의한 영향을 확인할 수 있었지만, 트럭은 영향을 받지 않는다고 하였다. 트럭이라는 차종의 특성상 고정차량이라고 가정한다면, 본 연구 결과와 같은 해석이 가능하다. 관련하여 평창의 SE, OF 지점이 적설의 변화에도 불구하고 평균 통행량 변화(α)가 상대적으로 작은 이유는 유동차량이 적고, 고정차량의 비중이 높기 때문으로 판단된다.

3.1.2 주행속도

Figure 5는 적설과 무적설에 따른 월별 일평균 주행속도(km h^{-1})를 나타낸 그래프이다. 황색 막대는 무적설, 적색 막대는 적설사례를 나타낸다. 황색선은 무

적설시 주행속도 평균선이고, 적색선은 적설시 주행속도 평균선이다. 무적설시, 전체 주행속도 평균은 춘천의 JJ, HI이 각각 83 km h^{-1}, 67 km h^{-1}. 평창의 SE, OF이 각각 55 km h^{-1}, 62 km h^{-1}. 강릉의 JI, DI, SP, GE이 각각 80 km h^{-1}, 80 km h^{-1}, 76 km h^{-1}, 73 km h^{-1}로 춘천의 JJ가 가장 높은 주행속도를 보였으나, 대체적으로 강릉의 주행속도가 높다. HI는 앞서 상대적으로 적은 교통량을 보인 것에 비해, 낮은 주행속도를 보이고 있다. 주행속도는 교통량과 마찬가지로 적설시, 감소하는 것을 확인할 수 있다. 이때 평창이 상대적으로 적은 감소율(SE: 6%, OF: 5%)을 보였으며, 춘천이 가장 높은 감소율(JJ: 10%, HI: 9%)을 보였다. 강릉은 JI, DI, SP, GE 각각 9%, 8%, 8%, 8% 감소율을 보였다. 월별 감소율은 Fig. 5에 검은색 상자(reduction rate)로 수치적으로 명시하였다. 춘천은 상대적으로 2, 3월, 강릉은 12, 1월에 큰 감소율을 보였다.

Figure 6은 일 신적설에 따른 일평균 주행속도의 변화를 1:1 대응 산점도로 나타낸 것이다. 교통량과 마찬가지로 모든(춘천, 평창, 강릉) 지역에서 적설과 주행속도는 음의 상관성을 보였다. 특히 강릉은 타 지역과 비교하여 신적설에 따른 평균 주행속도의 뚜렷한 감소변화를 보였다(JI: R = 0.7218***, DI: R = 0.6167***, SP: R = 0.6983***, GE: R = 0.7763***). 신적설에 따른 평균 주행속도 감소율(α)은 JI가 0.69, DI가 0.62, SP가 0.59, GE가 0.61를 보였다. 앞서 교통량 감소에는 비교적 낮은 상관성을 보였던, 평창에서의 적설은 SE, OF 지점에서 주행속도에 대해 각각 약 0.6135***, 0.4142***로 비교적 높은 상관성을 보였다. 하지만 각각 α가 약 0.5, 0.2의 추세선 기울기를 보이며 상대적으로 낮은 감소율을 보였다. 춘천은 높은 감소율(JJ: α = 0.79, HI: α = 0.58)을 보이되, 타 지역에 비해 상대적으로 가장 낮은 상관성(JJ: 0.3824***, HI: 0.2629**)을 보였다. 춘천은 지역적 기후특징으로 적설 분포가 상대적으로 좁고, 특히 일 신적설 3 cm 이하에서 넓은 주행속도 분포를 보인다.

3.2 적설시, 시간평균 교통량과 주행속도 변화

Figure 7은 대표적으로 강릉의 GE와 춘천의 HI 지점을 각 시간 해상도(1, 3, 6시간)의 신적설에 따른 교통량 분포를 1:1 대응 산점도로 나타낸 것이다. 평창의 교통량은 고정차량의 비중이 높으므로 적설에 따른 교통량 감소추세 분석은 더 이상 의미가 없다고 판단하였다. 춘천 ASOS의 1시간 적설자료는 관측값이 불안정하여 본 연구분석에서 제외하였다. 분석결과에서 교통량은 Fig. 4의 일 단위 상관분석에 비해 1, 3, 6시간 단위 분석에서 적설에 따라 뚜렷한 감소추세가 나타나지 않았다. 상관계수(R)는 모든 시간 해상도 및 지점에서 0.2를 넘지 못하였다. 이는 교통량

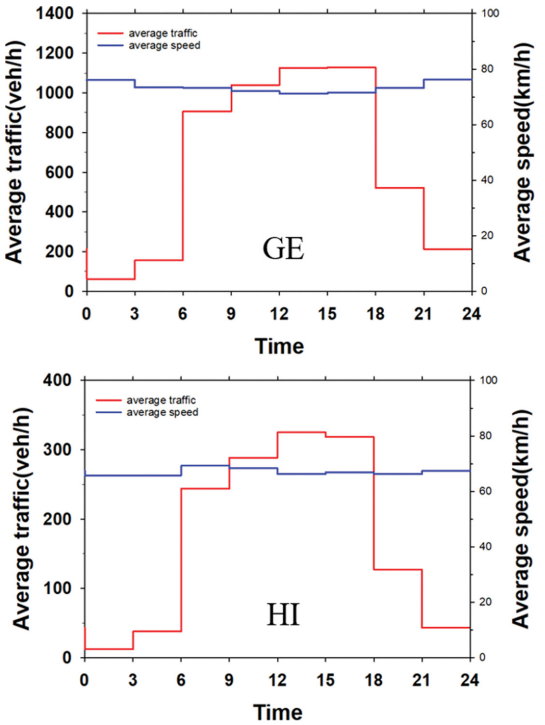

Fig. 8. Changes in average traffic volume (red line) and speed (blue line) over time in GE (Gwahakdanji Entrance; 2015.01~2019.03) and HI (Hakgok Intersection; 2011.12~2019.03) in the non-snowfall cases.

을 변화시키는 요인이 적설보다 더 크게 작용하는 요소가 있으며, 본 연구에서는 그것을 '시간대'로 보았다. 하루 중 교통량은 적설요소 이전에 시간대에 가장 큰 영향을 받는다. 인간이 활동하는 시간이 교통량과 밀접하게 관계되기 때문이다. Figure 8은 GE와 HI에서 하루동안(무적설) 평균 교통량(빨간선)과 주행속도(파란선)의 변화를 나타낸 것이다. 주행속도는 모든 시간대에서 거의 일정한 크기를 유지하는 것에 비해, 교통량은 0600 LST와 1800 LST 기준으로 큰 변화를 보이고, 1200 LST 전후로 가장 많은 교통량이 나타난다. 즉, 일 단위로 합해있던 교통량이 시간단위로 나뉘어지면서 변동폭이 커졌고 이로 인해 분산이 높아진 것이다. 이를 고려하여, 본 연구에서는 6시간 간격으로 낮 시간대(daytime: 0600~1200 LST, 1200~1800 LST)와 밤 시간대(nighttime: 1800~2400 LST, 0000~0600 LST)로 나누어 신적설에 따른 교통량 관계 및 추세변화를 살폈다(Fig. 9, Table 2). 시간대를 나누어 분석해 본 결과, GE와 HI 지점 모두 낮 시간대가 밤 시간대보다 상관성 및 선형회귀식 기울기(α)가 높다. 낮에 쌓인 적설이 교통량에 대해 더 높은 영향력을

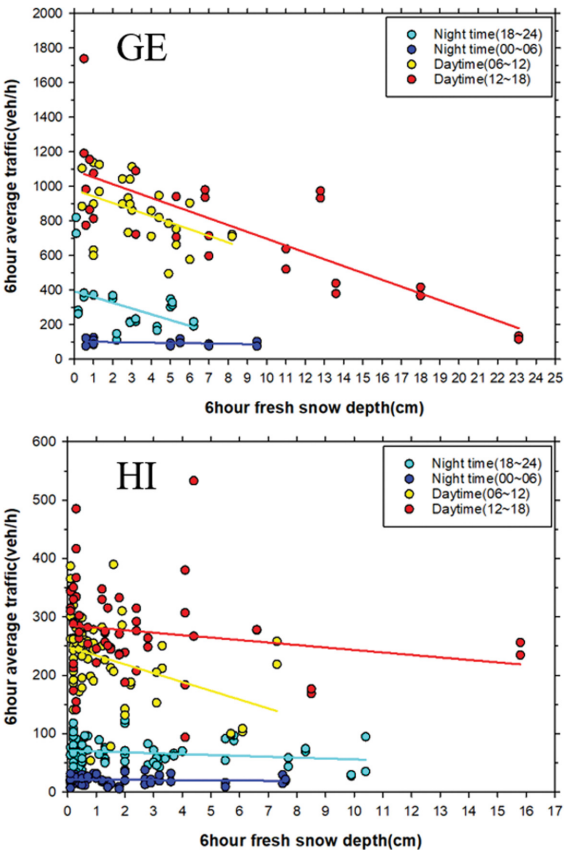

Fig. 9. The decreasing trend in traffic volume according to fresh snow depth in each time zone in GE (Gwahakdanji Entrance) and HI (Hakgok Intersection) regions. More detailed figures are given in Table 2.

행사한 것이다. 그리고 낮 시간대의 적설과 교통량 상관성이, 시간대를 나누기 전(Fig. 7의 6시간 해상도; GE: R = 0.2043*, HI: R = 0.0687)보다 향상된 것을 확인할 수 있었다. GE 지점은 낮 시간대에서 신적설에 따라 교통량의 높은 감소율(0600~1200 LST와 1200~1800 LST에서 α가 각각 38.2, 39.5)을 보였고, 0000~0600 LST에서는 교통량 변화가 거의 없었다(α = 1.6). HI 지점은 낮 시간대에서 신적설에 따라 교통량의 높은 감소율(0600~1200 LST와 1200~1800 LST에서 α가 각각 15.1, 4.2)을 보였고, 밤 시간대에서는 교통량 변화가 거의 없었다(1800~2400 LST와 0000~0600 LST에서 α가 각각 1.5, 0.3).

Figure 10은 GE와 HI 지점을 각 시간 해상도(1, 3, 6시간)의 신적설에 따른 주행속도 분포를 1:1 대응 산점도로 나타낸 것이다. GE에서 주행속도는 1시간과 3시간 해상도의 신적설정보에 대해서는 일(24시간) 신적설(Fig. 6의 GE; R = 0.7763***)에 비해 낮은 상관결과가 나왔지만, 6시간 해상도의 적설강도와 누적적설 정보에 대해서는 높은 상관성(R = 0.8009***)을 보였다. 이때 결정계수(R^2) 또한 0.6414로써, 6시간 신적설이 주행속도 변화의 64%를 설명하는 것으로 분석된다. HI 지점의 3시간 및 6시간 신적설 정보(R이 약 0.4)는 24시간 적설(Fig. 6의 HI; R = 0.2629**)보다 주행속도에 대해 더 높은 상관성을 보였다.

4. 토의 및 요약

강원도에서 적설이 도로교통에 미치는 영향을 분석하기 위해 강릉, 평창, 춘천의 일반국도에 대해 사례분석을 실시하였다. 이때 기상자료는 기상청 ASOS 지점의 신적설 자료, 교통자료는 국도관리청의 VDS 지점 교통량과 주행속도 자료를 사용하였다. 해당 자료를 이용하여 각 지역의 적설사례에서 교통량과 주행속도가 무적설 사례와 비교하여 얼마나 감소하는지 분석하였고, 나아가 적설에 의한 월별 감소경향 특징을 살폈다. 그리고 일 신적설에 따른 일평균 교통량

Table 2. The relationship between fresh snow depth and traffic volume according to time zone in Gwahakdanji (GE) and Hakgok Intersection (HI) region (* $p \le 0.05$, ** $p \le 0.01$, *** $p \le 0.001$).

Time (LST)	GE		HI	
	R	Regression e.q.	R	Regression e.q.
Daytime (06~12)	−0.4696*	Y = −38.1705x + 980.5552	−0.3987**	Y = −15.0876x + 248.8536
Daytime (12~18)	−0.7892***	Y = −39.5059x + 1091.8827	−0.1813	Y = −4.2499x + 285.8161
Nighttime (18~24)	−0.4378*	Y = −33.3219x + 393.1122	−0.1861	Y = −1.5042x + 71.0378
Nighttime (00~06)	−0.3098	Y = −1.6271x + 102.2255	−0.0875	Y = −0.3218x + 21.6790

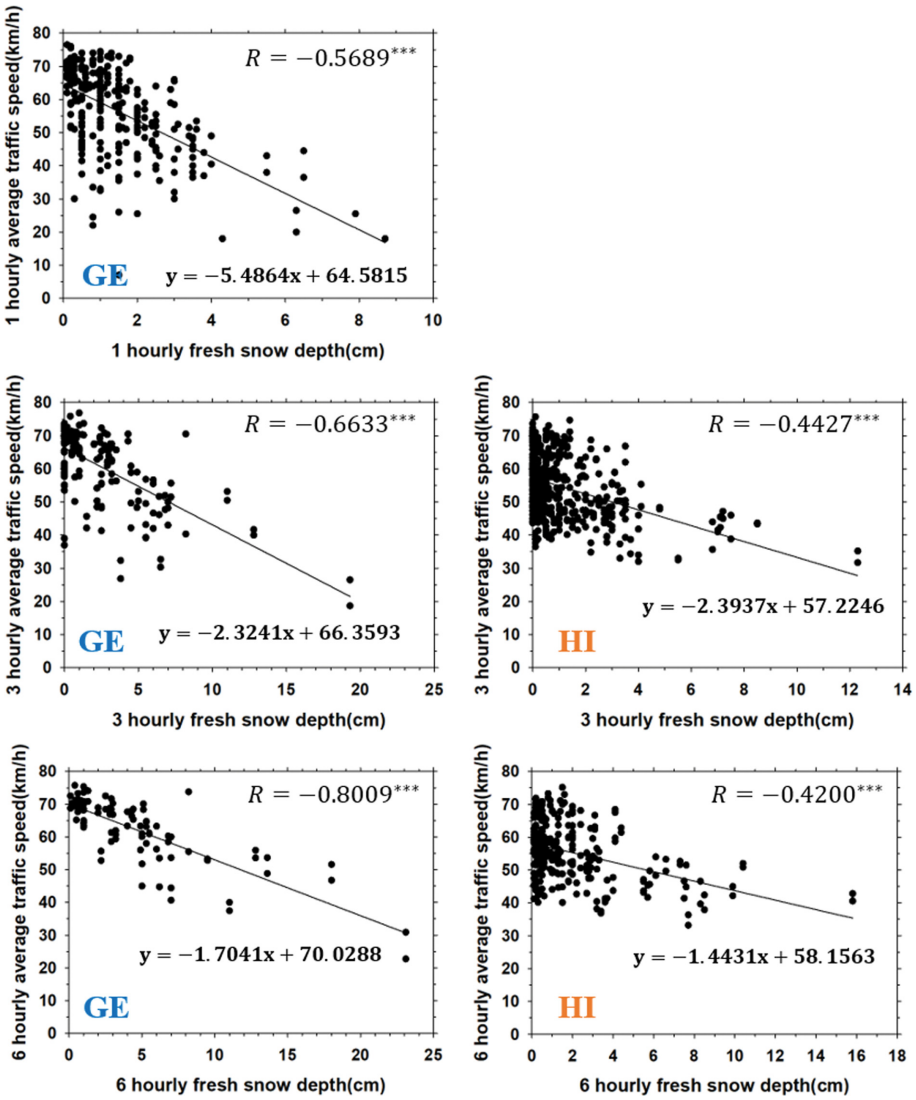

Fig. 10. The decreasing trend in average traffic speed according to fresh snow depth by time resolution (1-hourly, 3-hourly, and 6-hourly) of the traffic data in GE (Gwahakdanji Entrance) and HI (Hakgok Intersection) regions. Correlation coefficients and linear regression equations are shown (* $p \le 0.05$, ** $p \le 0.01$, *** $p \le 0.001$).

과 주행속도의 변화 경향을 살피고, 적설이 교통량 및 주행속도에 미치는 영향력을 정량적으로 파악하기 위해 Pearson 상관분석 및 회귀분석을 실시하였다.

분석결과를 요약하면, 적설은 관련 선행연구들의 연구결과와 마찬가지로 적설시에는 평소보다 교통량과 주행속도가 감소하는 결과를 얻었으며, 지역별로 감소율은 상이했다. 교통량 감소율은 강릉, 춘천, 평창 순으로 컸으며, 주행속도 감소율은 춘천, 강릉, 평창 순으로 컸다. 월별 감소율 분석에서는 유의미한 결과를 찾지 못하였으나 대체로 교통량은 12, 1월에 큰 감소율을 보였고 2, 3월에 낮은 감소율을 보였다. 주행속도는 춘천이 2, 3월에, 강릉이 12, 1월에 큰 감소율을 보였다. 이같은 지역별 월별 감소량 결과해석은 단순 기후(적설) 특성에 따른 변화를 단순통계로 거시적으로 확인한 것이다. 즉, 지역별 교통요소 연변화가 거의 없음을 가정했으며, 월별로 적설사례일수, 적설량, 강도 등의 차이가 있음을 인지하고 해석에 주의를 가져야한다.

일 신적설과 교통량 상관분석에서는 모든 지역에서 음의 상관관계를 확인하였으나, 강릉을 제외하고 춘

천, 평창은 통계적으로 무의미하거나 낮은 상관성을 보였다. 산점도 경향 및 회귀식의 기울기(α)를 살펴봤을 때, 평창은 평소 외부차량의 유입이 상대적으로 적고 생업에 관련된 업무차량과 대중교통의 비중(고정통행차량)이 높기 때문에 적설에 크게 영향을 받지 않는 것으로 판단된다. 춘천은 평소 교통량의 지역적 특성이 탁월하여 적설에 대한 영향이 두드러지지 않았다. 또한 일 신적설 3 cm 이상의 사례 수가 적은 춘천의 지역적 기후 특징으로 인해, 일정 신적설 이상에서 자료수가 충분하지 않으므로 통계적 특징을 판단하기에 무리가 있다. 일 신적설과 주행속도 상관분석에서도 모든 지역에서 음의 상관관계를 확인하였다. 주행속도는 신적설에 대해 통계적으로 매우 유의한 수치를 보였다. 하지만 춘천은 속도 분산이 상대적으로 매우 크게 나타났다. 최근 10년 동안(2005.12.01~2015.03.31), 3시간 신적설 사례 기준으로 춘천은 강릉과 비교하여 적설빈도는 결코 적지 않다(춘천: 294, 강릉: 266). 하지만 적설량면에서 3 cm 미만 사례가 전체 사례에서 85.71%를 차지한다(GROM, 2017). 이러한 지역 기후 특징으로 춘천에서 적설은 교통상황에 크게 영향을 미치지 못한 것으로 이해된다. 뿐만 아니라, 춘천의 지역적 교통특성이 타 지역보다 복잡한 양상을 보이며 이에 대한 심층적 요인분석이 요구된다.

앞서 서론에서 언급했듯, 신적설 자료의 시간 해상도가 길면 길수록 적설강도 정보가 줄어들고 누적적설 정보가 늘어난다. 따라서 이러한 신적설 자료 특성을 고려하여, 24시간 미만의 시간해상도(1, 3, 6시간) 신적설 정보에 따른 교통영향(교통량과 주행속도의 변화와 민감도)을 분석하였다. 먼저 신적설과 교통량의 관계에서는 모든 시간해상도에서 일 단위 분석에 비해 낮은 상관성을 보였다. 이는 교통량은 하루 중 인구이동과 관련하여 시간변화에 민감하기 때문이다. 즉 하루 중 시간대에 따른 교통량의 변화가 나누어지면서 분산이 높아진 것이다. 시간대로 구분하여 재분석했을 시, 낮 시간대에서 일 단위 분석에 비해 충분히 유의미한 결과를 확인할 수 있었다. 신적설과 주행속도의 관계에서는 6시간 단위의 강설강도와 누적적설 정보에 가장 높은 상관성을 확인할 수 있었다. 특히 강릉의 주행속도는 정확한 적설예보가 선행된다면, 선형회귀식을 이용하여 충분히 예측까지 가능한 단계의 결과를 보였다. 이때 분산을 높이는 주요 원인은 조사결과, 신정·축제·올림픽기간 등 특별사례로 확인되었다.

평창의 교통량은 지역적으로 외부 유입차량보다는 지역 내 고정차량의 비율이 높아 강릉과 춘천에 비해 적설에 따라 감소하는 경향(α 값)은 크지 않아, 일정한 교통량을 보였다. 이와 관련하여 각 도시내 국도에서 도심에 가까울수록 적설과 교통량의 관계에서 α 값이 커진다는 점, 시간대 교통량 분석에서 낮 시간대가 밤 시간대보다 α이 크다는 점은 도로에 유입 교통량이 많을수록 교통에 대한 적설의 영향이 커짐을 의미한다.

추후 도로교통의 제설지원을 위한 영향예보적 차원에서, 도로유형을 관광부, 지방부, 도시부로 그룹을 나누어 접근하는(Kim and Oh, 2015) 등의 방식을 비롯한 지역 세부적인 일반적 교통특성 조사가 선행되고, 기후적 특징을 고려한 적설강도와 누적적설에 대한 교통상황 민감도 테스트를 수행한다면 향후 정확도 높은 도로상황 예측을 기대할 수 있을 것이다.

Figure 8에서 무적설시, 하루 중 주행속도의 변화는 거의 일정하다. 주행속도가 교통량에 비해 적설과의 관계에서 더 밀접한 관계성을 보이는 이유 중에 하나이다. 반대로 해석하면 평소(무적설), 하루 중 주행속도의 변화가 일정하지 않다면(도로구간의 서비스수준이 원활하지 못하다면; MOLIT, 2013) 적설에 따른 일정한 감소추세를 기대하기 어려울 것이며, 추가 분석이 요구될 것이다.

본 연구분석에서는 전반적으로 활용된 자료에 대하여 한계를 가진다. 첫째로 자료 기간의 불충분이다. 강릉과 평창에서 ASOS 신적설 자료와 VDS 자료가 동시에 존재하는 기간은 2019년 기준으로 약 4년이다. 이중 겨울기간의 적설사례만이 연구에 사용되므로, 통계적 접근에서 충분치 않은 자료의 한계가 있다. 특히 평창 ASOS 지점의 신적설은 2015년 이후 관측을 수행하지 않는다. 춘천은 8년이라는 상대적으로 긴 자료가 구축되었으나, 3 cm 이상의 사례가 적은 문제점이 있었다. 이에 향후 충분한 자료가 수집된 후 후속 연구가 요구되나, 시대적 차원에서 무작정 오랜 기간에 대한 통계분석은 사회 및 교통특성 변화에 따른 오류를 범할 수 있기에 적정기간을 고려해야 된다. 둘째로 자료 지점의 불충분이다. 특히 춘천의 VDS 지점 선정에서 문제가 있었다. 춘천의 46번 국도가 지도상 도심에서 가까운 국도로써 연구사례지점으로 선정했으나, 분석결과 도로의 평균 교통량이 연구목적의도와 부합하지 않았다(대도시에 비해 매우 낮은 교통량). 관련해서 일반국도의 VDS 지점은 모종의 이유로 도심에서 일정수준 벗어나 있었다. 때문에 각 지역의 교통 특성을 대표하기엔 다소 무리가 있으며, 향후 이에 대한 대책이 필요하다.

감사의 글

이 연구는 기상청 국립기상과학원「기상업무지원 기술개발연구」“생명·농림기상 지원 및 활용연구(KMA2018-00620)”의 지원과 부분적으로 2019년도 강

릉원주대학교 전임교원 연구년 지원으로 수행되었습니다.

REFERENCES

Agarwal, M., T. H. Maze, and R. Souleyrette, 2005: Impacts of weather on urban freeway traffic flow characteristics and facility capacity. *Proc. The 2005 mid-continent transportation research symposium*, Ames lowa, US, 18-19.

Baek, S.-K., S.-Y. Jeong, T.-K. Lee, and J.-M. Won, 2010: Analysis of snowing impacts on freeway trip characteristics using TCS data. *J. Korea Inst. Intell. Transp. Syst.*, **9**, 68-79 (in Korean with English abstract).

Datla, S., and S. Sharma, 2008: Impact of cold and snow on temporal and spatial variations of highway traffic volumes. *J. Transp. Geogr.*, **16**, 358-372.

GROM, 2017: A study on the influence of snow and fog in Gangwon Province II. Gangwon Regional Office of Meteorology, 90 pp (in Korean).

_____, 2018: A study on the influence of snow and fog in Gangwon Province. Gangwon Regional Office of Meteorology, 206 pp (in Korean).

Hassan, Y. A., and D. J. Barker, 1999: The impact of unseasonable or extreme weather on traffic activity within Lothian region, Scotland. *J. Transp. Geogr.*, **7**, 209-213.

Hong, S., C. Oh, C. Yang, and W. Jeon, 2012: Effects of snowfall intensity on freeway travel speed (Focused on Seohaean freeway). *Int. J. Highw. Eng.*, **14**, 93-101 (in Korean with English abstract).

Kim, T.-W., and J.-S. Oh, 2015: Provincial road in national highway traffic volume variation according to rainfall intensity. *Jour. of KoCon. A.*, **15**, 406-414, doi:10.5392/JKCA.2015.15.03.406 (in Korean with English abstract).

KISTEP, 2019: Weather hazard and impact forecast, Korea Institute of S&T Evaluation and Planning, Technology Trends Brief no. 2019-10, 26 pp [Available online at http://www.sec.re.kr/data/report/board/view.do?brdno=11528] (in Korean).

Knapp, K. K., and L. D. Smithson, 2000: Winter storm event volume impact analysis using multiple-source archived monitoring data. *Transport. Res. Rec.: J. Transport. Res. Board*, **1700**, 10-16.

Kumar, M., and S. Wang, 2006: Impacts of weather on rural highway operations - Showcase evaluation #2. Final Rep., Western Transportation Institute, 93 pp.

Lee, K.-K., 2015: Effects of meteorological factors on the frequency of the traffic accidents in Seoul. *J. Soc. Korea Ind. Syst. Eng.*, **38**, 1-7, doi:10.11627/jkise.2014.38.1.01 (in Korean with English abstract).

MOLIT, 2013: Road capacity manual. Ministry of Land, Infrastructure and Transport, 674 pp (in Korean).

Roh, H.-J., 2020: Assessing the effect of snowfall and cold temperature on a commuter highway traffic volume using several layers of statistical methods. *Transport. Eng.*, **2**, 100022, doi:10.1016/j.treng.2020.100022.

_____, and S. Sharma, 2018: Microscopic and macroscopic diagnosis of the effect of winter weather conditions on distribution pattern of truck types in regional commuter road. *J. Mod. Transport.*, **26**, 57-71, doi:10.1007/s40534-017-0153-7.

_____, _____, and S. Datla, 2014: The impact of cold and snow on weekday and weekend highway total and passenger cars traffic volumes. *The Open Transport. J.*, **8**, 62-72.

Sohn, C., and G. Kim, 2014: Influences of weather on the inbound traffic volume of a tourist destination. *The Korea Spatial Plann. Rev.*, **83**, 99-111, doi:10.15793/kspr.2014.83..007 (in Korean with English abstract).

Son, Y. T., S. H. Lee, and J. H. Im, 2013: A study on highway capacity variation according to snowfall intensity. *J. Korean Soc. Transp.*, **31**, 3-11, doi:10.7470/jkst.2013.31.6.003 (in Korean with English abstract).

WMO, 2015: WMO guidelines on multi-hazard impact-based forecast and warning services. World Meteorological Organization No. 1150, 23 pp.