폭설 피해지역 유입교통량 변화에 대한 연구 -2011년 영동지역 폭설사례를 중심으로-

손철¹ · 김건후² · 김기병³

¹강릉원주대학교 도시계획부동산학과,

²강릉원주대학교 지역개발학과, ³강릉원주대학교 대기환경과학과

(2014년 12월 7일 접수, 2014년 12월 22일 수정, 2014년 12월 24일 게재 확정)

Changes in Inbound Traffic Volume of a Heavy Snowfall Impacted Area -A Case Study on the Heavy Snowfall Event of the Youngdong Region in 2011-

Chul Sohn¹ · Geonhu Kim² · Kibyoung Kim³

¹Department of Urban Planning and Real Estate, Gangneung-Wonju National University

²Department of Regional Development, Gangneung-Wonju National University

³Department of Atmospheric and Environmental Sciences, Gangneung-Wonju National University

(Received 7 December 2014, Revised 22 December 2014, Accepted 24 December 2014)

Abstract : We analyzed the impact of the heavy snowfall occurred from Feb. 10 to Feb. 14, 2011 on the inbound daily traffic volume of the Gangneung Highway Tollgate using time series regression models. We found that the maximum reduction rate of inbound highway traffic volume during the heavy snowfall period is 70%. The inbound traffic volume increased steadily to normal inbound traffic volume after 2 to 4 days from the date when the snowfall stopped. The reason why 2 to 4 days are needed to reach normal inbound traffic volume is that it took substantial time to clear snow from the roads.

Key Words : heavy snowfall, inbound traffic volume, RSA, ASOS

주요어 : 폭설, 유입교통량, RSA, ASOS

1. 서론

극한기상(extreme weather)은 특정기간에 발생하는 기상현상이 평균적 기상패턴과 커다랗게 다른 경우를 의미한다. 우리나라의 경우 호우, 폭설, 폭

염, 한파 등이 이에 해당한다. 극한기상은 자연재해의 가장 큰 원인으로 발생원인과 대처방안에 대한 연구가 집중적으로 이루어지고 있다. 극한기상의 유형 중 폭설은 비교적 짧은 시간에 적설이 집중적으로 발생하는 기상현상을 의미한다. 우리나라

라의 경우 2003년에서 2012년의 기간 중 폭설로 인한 피해액은 연평균 1,700억원 정도로 나타났다(Han, 2014). 폭설은 구조물의 붕괴로 인한 인명 및 재산피해, 도로의 마찰력 및 시계 저하로 인한 교통사고 등 직접적인 피해를 유발하며 간접적으로는 도로의 접근성을 저감시켜 경제활동을 저해하는 효과를 가진다. 폭설이 사회에 미치는 영향은 부정적 측면에 한정되지 않으며 수자원 공급, 산불예방 등의 긍정적 영향도 아울러 제공한다. 폭설로 인한 사회적 영향이 상당하기 때문에 다양한 직·간접적 영향을 정밀하게 측정하고 이를 통해 폭설의 사회적 편익과 비용을 측정하는 것이 필요하다.

우리나라의 경우 폭설의 직접적 영향에 대한 통계는 소방방재청의 재해연보나 경찰청의 교통사고 집계데이터를 통해 공표되고 있어 그 규모와 공간적 분포에 대한 식별이 가능하다. 그러나 간접적 영향에 대해서는 많은 연구가 이루어지지 않고 있다. 예외적으로 HRI(2014)가 적설로 인한 교통혼잡비용에 대한 연구결과를 제공하고 있으나 다양한 유형의 간접영향에 대한 연구결과는 부족하다. 폭설의 간접적 영향으로 그동안 잘 고려되지 못한 사항은 폭설로 인한 피해지역 방문객수의 감소이다. 실제로 폭설피해지역은 폭설로 인한 방문객 감소와 지역경기 악화에 대해 호소하고 있으나 폭설로 인해 방문객은 얼마나 감소했는지, 그리고 방문객의 감소는 어느 시점까지 지속되는가에 대한 연구는 찾아보기 힘들다.¹⁾ 폭설은 도로 마찰력을 낮추고 시계를 저하시켜 사고 위험성을 높이는 효과가 있으며 상당한 높이로 쌓인 눈은 통행자체를 불가능하게 한다. 그리고 폭설의 종료이후에도 제설작업을 통해 피해지역의 다양한 유형의 도로가 제기능을 회복하기까지에는 상당한 시간이 소요된다. 이러한 모든 요인이 결합하여 폭설이 진행되는 시기와 종료 후 일정시기까지 폭설피해지

역을 관광 및 업무목적으로 방문하는 방문객의 수가 감소할 가능성이 존재한다. 방문객수의 감소는 상당부분 피해지역에서의 지출감소와 연관 지어지기 때문에 지역경제에 민감한 영향을 미칠 수 있다.

그동안 국내외 몇몇 연구들이 적설이 교통량 및 통행거리에 미치는 영향에 대한 연구를 수행하였으나 적설이 해당 시점의 교통량과 통행거리에 어떤 영향을 미쳤는가를 분석하였을 뿐 적설 이후에 피해를 복구하는 과정에서의 방문객수 변화를 분석한 연구는 찾아보기 힘들다. 이런 배경에서 본 연구에서는 2011년 2월 10일에서 14일까지 강원도 영동지역에서 발생한 기록적 폭설이 강원도 영동지역 관광지에 출입하기 위한 주요 통로인 영동고속도로 강릉 톨게이트 유입교통량에 미친 영향을 분석하고자 한다. 강릉 톨게이트 일별 유입교통량은 도로공사의 요금징수기계화설비에 의해 측정되며 시외지역에서 강릉지역으로 일별 유입되는 차량 수에 대한 가장 신뢰할 만한 정보를 제공한다. 문화관광체육부가 제공하는 주요관광지 월별 방문자수 통계 역시 해당지역의 방문객수에 대한 정보를 제공하나 월별통계이고 자동화된 시스템에 의해 제공되는 톨게이트 유입량 통계보다 보고자의 주관이 개입될 여지가 있어 본 연구에서는 이용하지 않았다.

2. 관련연구에 대한 검토

적설은 가뭄 및 산불예방, 스키장과 같은 관광산업의 활성화 등에 도움을 주는 반면 교통사고, 교통혼잡, 적설하중으로 인한 구조물 붕괴 등 부정적 결과를 가져오는 기상요소이다(Jeong and Lee, 2014). 특정기간에 집중되고 기후적 평균치를 벗어나는 적설 패턴을 의미하는 폭설은 적설이 가져

오는 부정적 효과를 특정기간, 특정지역에 집중 시킴으로써 커다란 경제적 피해를 가져오기도 한다. 폭설이 가져오는 대표적인 부정적 효과로는 적설하중 증가로 인한 구조물 붕괴 및 교통시스템에 미치는 부정적 영향이 있다. 폭설을 포함한 적설이 교통측면에 미치는 부정적 영향은 구체적으로 교통사고 위험성 및 교통혼잡의 증가(Datla and Sharma, 2008) 그리고 이로 인해 운전자가 자동차를 이용하여 도로로 나오는 것을 억제하는 효과(Knapp and Smithson, 2000) 등이다.

적설이 가져오는 부정적 영향에 대한 연구는 적설의 직접 피해액에 대한 연구(Jeong and Lee, 2014), 교통시스템에 미치는 영향에 대한 연구(HRI, 2014; Baek *et al.*, 2010; Datla and Sharma, 2008; Maze *et al.*, 2006; Knapp and Smithson, 2000; Hassan and Barker, 1999; Hanbali and Kuemmel, 1993) 등이 있다. 또한 적설이 가져오는 긍정적 영향에 대한 연구에서는 스키장 운영에 미치는 영향에 대한 연구(Töglhofer *et al.*, 2011; Falk, 2010), 가뭄 및 산불예방에 미치는 영향에 대한 연구(KMA, 2010) 등이 있다. 각 연구의 주요내용을 살펴보면 다음과 같다.

Jeong and Lee(2014)는 1985년에서 2012년 사이 적설로 인한 자연재해 피해액을 검토한 결과 높은 GRDP로 대표되는 고소득지역에서의 피해액이 낮은 것을 발견하였고 이를 통해 사회경제적 요인이 자연재해 피해액을 결정하는 중요한 요인임을 보였다. Töglhofer *et al.*(2011)은 1972-1973~2006-2007 기간에 대해 오스트리아 스키장의 관광객 체류일수와 적설조건의 관계를 분석하였고 적설조건의 개선과 체류일수 사이에 정(+)의 상관관계가 있는 것을 발견하였다. KMA(2010)는 2010년 중부지방에 내린 평균 강설량 16cm의 가치를 봄 가뭄 경감, 수자원확보, 대기세정, 산불예방 등의 측면에서 분석한 결과 약 8,300억원 정

도의 가치가 있는 것을 보고하였다. Falk(2010)는 1986~2006년까지 오스트리아 28개 스키 관광지에 대한 분석결과 눈의 깊이가 체류관광일수에 긍정적 영향을 미치는 것을 발견하였다. Baek *et al.*(2010)은 1998~2008년의 강설량자료와 고속도로 통행량자료의 상관관계를 분석한 결과 강설시 일평균 통행량이 비강설일에 비해 7.3% 정도 감소하며 통행거리도 감소함을 발견하였다. Datla and Sharma(2008)는 캐나다 알버타지역의 고속도로에서 적설로 인해 교통량이 뚜렷하게 감소하는 것을 발견하였다. Maze *et al.*(2006)은 미국 Iowa주의 Interstate Highway 35에서 강설로 인한 시야장애가 비교적 적을 경우 20% 정도의 교통량이 감소하며 시야장애가 매우 심할 경우 80% 교통량이 감소함을 발견하였다. Knapp and Smithson(2000)은 미국 Iowa주에서 겨울폭풍(winter storm)의 발생시 16~47%의 교통량이 감소하는 것을 발견하였다. Hassan and Barker(1999)는 적설이 스코트랜드 Lothian 지역의 교통량에 미치는 영향을 분석한 결과 10~15% 정도의 교통량이 적설시 감소하는 것을 발견하였다. Hanbali and Kuemmel(1993)은 미국 비도시지역의 고속도로 교통량에 눈폭풍(snow storm)이 미치는 영향을 분석하였다. 분석결과는 눈폭풍의 악화정도에 따라 최대 56%의 교통량 감소가 발생하는 것을 발견하였다.

이상의 연구들은 적설과 폭설이 다양한 긍정적·부정적 효과를 우리사회에 미치고 있음을 보여준다. 이를 통해 폭설의 직·간접적 영향을 정확히 파악하고 폭설이 가져오는 사회적 편익과 비용을 정확하게 측정할 수 있을 것이다. 그런데 이상의 연구가 제공해주고 있는 정보 가운데 미흡한 것은 폭설로 인해 피해지역에 유입되는 방문객수의 변화에 대한 정보이다. 폭설 피해지역에서 관광이나 업무를 수행하고자 하는 방문객은 쌓인 눈이 충분히 제거되어서 통행이 가능하고 안전한 도로망

의 이용이 가능한 시점까지 방문을 연기하거나 혹은 방문자체를 포기할 가능성이 존재한다. 따라서 폭설은 진행기간 중 그리고 제설이 완료되기 전까지 피해지역을 방문하는 방문객수에 부정적 영향을 미칠 가능성이 있다. 그리고 폭설로 인해 감소한 방문객수는 피해지역에서 지출되는 방문객 지출 총액의 감소를 의미하기 때문에 지역경제에 부정적 영향을 끼칠 수 있다. 이러한 효과 역시 폭설의 간접적인 효과로 정확히 측정될 필요가 있다.

3. 자료 및 연구 방법

1) 분석 자료

본 연구에서는 2011년 2월 10일에서 14일까지 강원도 영동지역에서 발생한 기록적 폭설이 강릉지역 유입교통량에 미친 영향을 분석하기 위해 2011년 1월 10일부터 2월 26일까지 외부지역에서 강릉을 방문하는 주요 통로인 영동고속도로 강릉톨게이트 유입교통량과 기상청 기상관측자료를 이용하였다. 분석을 위해 2011년 1월 10일부터 2월 26일까지 자료를 이용한 것은 이 기간 중 2월 10일에서 14일을 제외하면 관측된 적설이 없어 폭설

로 인한 영향을 구분하여 식별할 수 있기 때문이다.²⁾ 분석기간 중 강릉으로 유입되는 교통량을 측정하기 위해 한국도로공사가 운영하는 요금징수 기계화설비(TCS: Toll Collection System)에 의해서 집계된 일별 1종(소형)차량 유입자료를 사용하였다. TCS에서 1종 차량으로 분류되는 기준은 2축 차량, 윤폭 279.4mm이고 대표적으로 승용차와 16인승 이하 승합차가 해당된다.³⁾ 분석에서 1종 차량만을 사용한 것은 이 차종이 주로 업무와 관광에 이용되는 승용차를 포함하기 때문이다. 또한 2010년 12월에서 2011년의 3월까지의 기간 중 강릉지역의 신적설 자료는 기상청 강릉지역 종관기상관측장비(ASOS: Automated Synoptic Observing System)에서 관측된 일별자료를 이용하였다.

Figure 1에서 알 수 있는 바와 같이 동기간에 속하는 2011년 2월 11일에는 1979년 이후 최대 일신적설이 관측되었다. 2010년 12월에서 2011년 3월까지의 기간 중 강릉에서는 Figure 2에서와 같이 총 4개 기간에 걸쳐 연속적 적설이 관측되었다. 이 가운데 2011년 2월 10일에서 14일 사이에 내린 폭설은 강릉을 포함한 4개 시도 21개 시군구에 피해를 초래했다. 피해액은 360억 정도이며 비닐하우스와 축산시설에 커다란 피해를 입혔다. Figure 3

Figure 1. Snowfall(cm) observed between Jan. 1, 1979 and June 30, 2014.

Figure 2. Snowfall(cm) observed between Dec. 1, 2010 and March 31, 2011.

Figure 3. Snowfall, Feb. 11, 2011, ASOS.

Figure 4. Precipitation, Feb. 11, 2011, RSA.

과 Figure 4는 해당기간 중 최대 신적설이 기록된 2월 11일 적설의 공간적 범위를 ASOS와 RSA 자료를 활용하여 나타낸 것이다.⁴⁾

2) 연구방법

본 연구에서는 2011년 2월의 영동지역 폭설이 강릉지역 유입교통량에 미친 영향을 분석하기 위해 (1)~(4)와 같은 회귀식을 사용하였다. 모델(1)은 일별 유입교통량을 해당요일의 휴일여부 및 기상변수에 의해 설명하는 모델이다. 모델(1)의 추정치에 의해 적설 등의 기상변수가 유입교통량에 미치는 영향을 파악할 수 있다. 그러나 모델(1)은 적설 이후 제설에 상당한 시간이 소요되는 폭설의 영향을 측정하는 데는 부족함이 있다. 모델(2)은 모델(1)에 포함된 당일 적설변수에 추가적으로 5일전까지의 적설변수를 포함시킨 것이다. 이를 통해 1일 전 적설에서 5일 전 적설이 당일의 교통량에 미친 영향을 분석할 수 있다. 모델(3)은 분석기간을 적설이 없었던 날, 폭설기간, 폭설이 종료된 후 1일, 2일, 3일, 4일, 5일로 구분하여 더미변수로 포함시

킨 모델이다. 모델(3)의 추정을 통해 폭설기간 및 폭설종료 이후 5일까지의 교통량이 비적설 기간에 비해 어떻게 변화했는지 파악할 수 있다. 모델(4)은 모델(3)의 변형으로 폭설이 종료된 후 5일 이후의 날들을 나타내는 더미변수를 폭설종료 후 5일 변수 대신에 포함시킨 모델이다. 모델(3)과 모델(4)의 차이점은 모델(3)의 경우 비교의 기준이 되는 교통량이 폭설기간 및 폭설종료 후 5일까지의 기간에 속하지 않는 비적설일의 것인데 비해 모델(4)의 경우 비교의 기준이 되는 교통량이 폭설기간 전 비적설일의 교통량이라는 데 있다. 모델(4)를 통해 폭설종료 후 5일 이후의 교통량이 폭설 전의 비적설일 교통량에 비해 어떻게 변화하였는지 파악할 수 있다.

모델(1)~모델(4) 가운데 폭설과 폭설이후의 제설기간 중 유입교통량 변화를 통계적으로 분석할 수 있도록 해주는 것을 모델(2)~모델(4)이다. 모델(2)의 추정을 통해 분석기간 중 과거의 적설이 현재의 유입교통량에 미친 영향을 파악할 수 있다. 그리고 모델(3)과 모델(4)의 추정을 통해 유입교통

$$\ln(\text{Traffic}_d) = \alpha + \beta^1 \text{Friday} + \beta^2 \text{Saturday \& Sunday} + \beta^3 \text{Holiday} + \gamma \text{Snow}_d + \delta \text{Temperature}_d + e_d \quad (1)$$

$$\ln(\text{Traffic}_d) = \alpha + \beta^1 \text{Friday} + \beta^2 \text{Saturday \& Sunday} + \beta^3 \text{Holiday} + \gamma^0 \text{Snow}_d + \gamma^1 \text{Snow}_{d-1} + \gamma^2 \text{Snow}_{d-2} + \gamma^3 \text{Snow}_{d-3} + \gamma^4 \text{Snow}_{d-4} + \gamma^5 \text{Snow}_{d-5} + \delta \text{Temperature}_d + e_d \quad (2)$$

$$\ln(\text{Traffic}_d) = \alpha + \beta^1 \text{Friday} + \beta^2 \text{Saturday \& Sunday} + \beta^3 \text{Holiday} + \gamma^0 \text{Devent}_d + \gamma^1 \text{Devent}_{d+1} + \gamma^2 \text{Devent}_{d+2} + \gamma^3 \text{Devent}_{d+3} + \gamma^4 \text{Devent}_{d+4} + \gamma^5 \text{Devent}_{d+5} + e_d \quad (3)$$

$$\ln(\text{Traffic}_d) = \alpha + \beta^1 \text{Friday} + \beta^2 \text{Saturday \& Sunday} + \beta^3 \text{Holiday} + \gamma^0 \text{Devent}_d + \gamma^1 \text{Devent}_{d+1} + \gamma^2 \text{Devent}_{d+2} + \gamma^3 \text{Devent}_{d+3} + \gamma^4 \text{Devent}_{d+4} + \gamma^5 \text{DeventAfter}_{d+5} + e_d \quad (4)$$

d : day

Table 1. Definition of Variables.

Variables		Definition
TRAFFIC		Daily traffic volume
Non-Holiday		Non-Holiday=1 if the day is not Friday or weekend day or holiday.
Friday		Friday=1 if the day is Friday.
Saturday & Sunday		Saturday & Sunday=1 if the day is Saturday or Sunday.
Holiday		Holiday=1 if the day is holiday.
Event Variable	<i>NoSnow_d</i>	<i>NoSnow_d</i> =1 if the day has no snowfall.
	<i>Devent_d</i>	<i>Devent_d</i> =1 if the day belongs to the disaster period.
	<i>Devent_{d+1}</i>	<i>Devent_{d+1}</i> =1 if the day is one day after the disaster period.
	<i>Devent_{d+2}</i>	<i>Devent_{d+2}</i> =1 if the day is two days after the disaster period.
	<i>Devent_{d+3}</i>	<i>Devent_{d+3}</i> =1 if the day is three days after the disaster period.
	<i>Devent_{d+4}</i>	<i>Devent_{d+4}</i> =1 if the day is four days after the disaster period.
	<i>Devent_{d+5}</i>	<i>Devent_{d+5}</i> =1 if the day is five days after the disaster period.
	<i>DeventAfter_{d+5}</i>	<i>DeventAfter_{d+5}</i> =1 if the day is five days and more after the disaster period.
Weather Variable	TEMPERATURE	Temperature(Centigrade)
	<i>Snow_d</i>	Snowfall(cm)
	<i>Snow_{d-1}</i>	Snowfall, one day before(cm)
	<i>Snow_{d-2}</i>	Snowfall, two days before(cm)
	<i>Snow_{d-3}</i>	Snowfall, three days before(cm)
	<i>Snow_{d-4}</i>	Snowfall, four days before(cm)
	<i>Snow_{d-5}</i>	Snowfall, five days before(cm)

Table 2. Summary Statistics.

Variable	Obs	Mean	Std. Dev.	Min	Max
TRAFFIC	48	6,956	2,354	2,480	13,148
<i>Snow_d</i>	48	2.25	11.52	0.0	77.7
TEMPERATURE	48	4.47	4.33	-2.5	15.8

량이 폭설기간과 폭설종료 후 제설기간에 비적설일과 대비하여 어떻게 변동했는지를 파악할 수 있다. 모델(2)는 과거 적설의 영향이라는 측면과 모델(3)~모델(4)는 비적설일 대비 교통량의 변화라는 측면에서 적설과 교통량의 관계를 분석할 수 있도록 해준다. 모델(1)~모델(4)에 사용된 변수에 대한 정의와 통계량은 Table 1과 Table 2와 같다.

4. 결과

1) 폭설에 따른 1종 차량 유입교통량의 변화

Table 3은 2011년 2월 5일부터 20일까지 강릉 톨게이트를 통해 강릉지역으로 유입된 1종 차량 유입량과 신적설량을 보여준다. 이 기간의 적설은 2월 10일부터 시작되었으며 14일에 종료되었다. 이 기간 최대 신적설은 2월 11일에 기록되었으며 최저 유입교통량은 다음날인 2월 12일 토요일에 기록되었다. 2월 12일의 1종 차량 유입량은 2,914대로 직전 토요일인 2월 5일의 9,191대에 비해 6,277대가 감소한 것이다. Figure 5는 2010년 12월부터 2011년 3월 말까지 강릉 톨게이트를 통해 강릉지역으로 유입되는 1종 차량 유입량을 보여준다. Figure 6은 2011년 2월 5일부터 25일까지의 유입량

을 보여준다. 두 그래프는 2011년 2월 11일에서 14일까지의 유입교통량이 다른 기간에 비해 현저하게 감소한 후 회복되는 패턴을 보여준다.

Table 4는 2011년 1월 10일부터 2월 26일까지의 기간 중 비적설일, 폭설기간, 폭설이 종료된 후 1일에서 5일까지의 1종 차량 강릉 톨게이트 유입량을 요일별로 비교한 결과이다. Table 4를 살펴보면 적설이 없었던 기간의 해당요일 평균과 비교할 때 폭설기간 일요일은 약 49%, 월요일은 약 60%, 목요일은 약 16%, 금요일은 약 45%, 토요일은 약 70% 감소한 것을 알 수 있다. 폭설기간 중 교통량의 감소가 가장 큰 요일은 토요일이었다. 그리고 폭설이 종료된 후 첫날인 화요일의 교통량은 비적설일 화요일 평균에 비해 약 54% 감소하였으며 2일째, 3일째, 4일째, 5일째로 갈수록 비적설일의 동일한 요일 평균에 비해 약 25%, 18%, 4%, 5% 감소로 점차 회복세를 보였다. Table 5는 2011년 1월 10일부터 2월 26일까지의 기간 중 폭설 후 5일째와 그 후 기간의 비적설일 요일별 평균 교통량과 폭설전의 비적설일 요일별 평균교통량을 분리하여 Table 4와 동일한 비교를 한 결과이다. 폭설기간 중 요일별 교통량과 폭설기간 전의 요일별 평균 교통량을 비교한 감소폭은 Table 4의 경우와 유사하다. 또한 폭설일 이후 요일별 교통량 감소율은 약

Table 3. Traffic Volume and Snowfall.

Date	Day	Traffic Volume	Snowfall (cm)
Feb, 5, 2011	Saturday	9,191	0
Feb, 6, 2011	Sunday	6,440	0
Feb, 7, 2011	Monday	5,502	0
Feb, 8, 2011	Tuesday	5,524	0
Feb, 9, 2011	Wednesday	5,628	0
Feb, 10, 2011	Thursday	5,455	0.7
Feb, 11, 2011	Friday	4,228	77.7
Feb, 12, 2011	Saturday	2,914	12

Date	Day	Traffic Volume	Snowfall (cm)
Feb, 13, 2011	Sunday	3,470	0.2
Feb, 14, 2011	Monday	2,480	17.4
Feb, 15, 2011	Tuesday	3,133	0
Feb, 16, 2011	Wednesday	4,579	0
Feb, 17, 2011	Thursday	5,304	0
Feb, 18, 2011	Friday	7,435	0
Feb, 19, 2011	Saturday	9,082	0
Feb, 20, 2011	Sunday	7,898	0

Figure 5. Changes in Traffic Volume from Dec. 1, 2010 to March 31, 2011.

Figure 6. Changes in Traffic Volume from Feb. 5, 2011 to Feb. 25, 2011.

Table 4. Daily Traffic Volume after the Disaster Period - I.

	Sunday	Monday	Tuesday	Wednesday	Thursday	Friday	Saturday	Holiday
No Snow Day before Disaster Period	6,824.0	6,159.7	6,824.3	6,129.8	6,453.0	7,745.3	9,585.4	12,806.0
Disaster Period	3,470 (-49.2%)	2,480 (-59.7%)	-	-	5,455 (-15.5%)	4,228 (-45.4%)	2,914 (-69.6%)	-
1 Day after Disaster Period	-	-	3,133 (-54.1%)	-	-	-	-	-
2 Days after Disaster Period	-	-	-	4,579 (-25.3%)	-	-	-	-
3 Days after Disaster Period	-	-	-	-	5,304 (-17.8%)	-	-	-
4 Days after Disaster Period	-	-	-	-	-	7,435 (-4%)	-	-
5 Days after Disaster Period	-	-	-	-	-	-	9,082 (-5.3%)	-

Table 5. Daily Traffic Volume after the Disaster Period - II.

	Sunday	Monday	Tuesday	Wednesday	Thursday	Friday	Saturday	Holiday
No Snow Day before Disaster Period	6,555.5	6,028.2	6,778.0	6,000.5	6,362.3	7,509.7	9,224.8	12,806.0
Disaster Period	3,470 (-47.1%)	2,480 (-58.9%)	-	-	5,455 (-14.3%)	4,228 (-43.7%)	2,914 (-68.4%)	-
1 Day after Disaster Period	-	-	3,133 (-53.8%)	-	-	-	-	-
2 Days after Disaster Period	-	-	-	4,579 (-23.7%)	-	-	-	-
3 Days after Disaster Period	-	-	-	-	5,304 (-16.6%)	-	-	-
4 Days after Disaster Period	-	-	-	-	-	7,435 (-1%)	-	-
No Snow Day, 5 Days after and more after Disaster Period	7,898 (20.5%)	6,817 (13.1%)	7,056 (4.1%)	6,647 (10.8%)	6,725 (5.7%)	8,452 (12.5%)	10,055 (9%)	-

54%, 24%, 17%, 1% 등으로 4일째 거의 평상시의 요일 교통량으로 회복되는 모습을 보인다.

2) 모델추정결과

Table 6은 모델(1)의 OLS 추정결과와 Newey-West Estimator 추정결과를 보여준다. Newey-West Estimator 추정이 사용된 것은 모델(1)에 대한 OLS 추정결과 오차항의 1계 시계열 자기상관이 존재하는 것이 검증되었기 때문이다.⁵⁾ Newey-West Estimator 추정결과에서 요일변수에 대한 추정결과를 살펴보면 평일과 비교할 금요일, 토요일 및 일요일, 평일 공휴일일 경우 각각 약 32%, 21%, 66%의 일유입량이 증가하는 것을 보여준다. 기상변수의 경우 신적설 1cm가 증가할 때 1%의 일유입량이 감소하는 결과를 보여준다. 또한 온도가 증가할수록 일유입량이 증가하는 것을 보여준다. 분석결과에서 평일 공휴일 유입교통량의 증가가 가장 큰 것은 분석기간 중 평일 공휴일이 설날 연휴기간이기 때문인 것으로 해석된다. 그리고 금요일, 토요일, 일요일의 교통량이 평일에 비해 많은 것은 해변관광지인 강릉의 특성을 반영한 것이다. 온도가 증가할수록 유입교통량이 증가하며 적설의 경우 유입교통량을 감소시키는 것은 온화한 기온이 실외활동을 촉진하는 효과가 있으며 적설이 교통사고의 위험을 증가시키는 등의 부정적 영향을 가져오기 때문이다(Böcker *et al.*, 2013; Maze *et al.*, 2006).

Table 7는 모델(2)의 추정결과를 보여준다. 모델(2)의 추정결과 오차항의 1계 시계열 자기상관이 존재하는 것이 통계적으로 검증되지 않아 OLS 결과만을 보고하고 있다. 추정결과 요일변수의 영향은 모델(1)의 추정결과와 유사하다. 적설변수의 경우 당일과 1일에서 4일전 적설까지 오늘의 유입량에 부정적 영향을 미치고 있는 것을 알 수 있다. 적설이 1cm 증가할 때 당일 적설의 경우 유입량이

약 0.7% 감소시키며 하루 전의 경우 약 1.1%, 이틀 전의 경우 약 0.9%, 사흘 전의 경우 약 0.8%, 나흘 전의 경우 약 0.5% 감소시킨다. 그리고 닷새 전 변수는 통계적 유의성을 보이지 않고 있다. 이상의 결과는 분석기간 중 폭설로 인해 쌓인 눈이 도시 내 도로의 기능을 마비시키고 통행의 불편을 초래하여 유입교통량을 감소시키는 효과가 4일 정도까지 지속되었던 것을 통계적으로 보여준다.

Table 8은 모델(3)의 추정결과이다. 모델(3)의 OLS 추정결과 오차항의 1계 시계열 자기상관이 존재하는 것이 검증되지 않았다. 폭설기간, 폭설기간 후 1일에서 5일까지의 변수 추정결과를 살펴보면 폭설기간 중 비폭설기간에 비해 약 70%의 유입교통량이 감소하였다. 폭설이 종료된 후 첫째 날의 경우 약 72%, 폭설이 종료된 후 둘째 날에는 약 34% 정도의 유입량이 감소하며 셋째 날부터는 통계적으로 유의한 유입량 감소가 없는 것으로 보아 이때부터는 교통량이 정상적으로 회복된 결과를 보여준다.

모델(4)의 추정결과는 Table 9에서 살펴볼 수 있다. 추정결과는 대체로 모델(3)의 추정결과와 유사하다. 다만 폭설종료 후 5일 이후의 기간을 나타내는 변수의 추정부호는 양(+)이며 10% 유의수준에서 통계적 의미를 가진다. 이 결과는 폭설전의 일유입교통량에 비해 폭설종료 5일 이후의 일유입교통량이 약 13% 정도 증가한 것을 보여준다.

모델(1)~모델(4)의 추정결과를 종합하면 2011년 1월 10일부터 2월 26일까지의 1종 차량 일별 유입교통량을 기준으로 할 때 폭설로 인한 교통량 감소는 폭설기간 중 가장 컸으며 폭설이 종료된 이후 모델의 설정에 따라 2일에서 4일 정도까지 감소하는 추세로 지속되다가 이후에는 평상시의 교통량으로 회복되는 모습을 보이는 것을 알 수 있다.

Table 6. Estimation Results, Model (1).

Vehicle type-1	Model (1) : OLS	<div>Durbin's alternative test for autocorrelation</div> <div>lags(p) : 1</div> <div>chi2 : 15.981</div> <div>df : 1</div> <div>Prob>chi2 : 0.0001</div> <div>Max VIF : 1.22, Mean VIF : 1.18</div>	Model (1) : Newey-West Estimator
► Day of week			
Friday	0.321** (2.554)		0.321**** (3.885)
Saturday&Sunday	0.213** (2.394)		0.213* (1.823)
Holiday	0.659***** (3.89)		0.659***** (7.566)
► Weather			
<i>Snow_d</i>	−0.010*** (−2,923)		−0.010*** (−3,457)
Temperature	0.020** (2.108)		0.020* (1.994)
Constant	8.584***** (128,312)		8.584***** (116,247)
R ²	0.5009		—
N	48	48	

* p<0,10, ** p<0,05, *** p<0,01, **** p<0,001

Table 7. Estimation Results, Model (2).

Vehicle type-1	Model (2)	<div>Durbin's alternative test for autocorrelation</div> <div>lags(p) : 1 chi2 : 0.119 df : 1 Prob>chi2 : 0.7302</div> <div>Max VIF : 1.36, Mean VIF : 1.22</div>
► Day of week		
Friday	0.217*** (3,235)	
Saturday&Sunday	0.261***** (5,258)	
Holiday	0.626***** (6,963)	
► Weather		
<i>Snow_d</i>	-0.007***** (-3,763)	
<i>Snow_{d-1}</i>	-0.011***** (-5,938)	
<i>Snow_{d-2}</i>	-0.009***** (-4,718)	
<i>Snow_{d-3}</i>	-0.008***** (-4,410)	
<i>Snow_{d-4}</i>	-0.005*** (-2,980)	
<i>Snow_{d-5}</i>	-0.002 (-1,109)	
Temperature	0.013** (2,521)	
Constant	8.689***** (236,669)	
R ²	0.8808	
N	48	

* p<0,10, ** p<0,05, *** p<0,01, **** p<0,001

5. 토의 및 결론

본 연구에서는 2011년 2월 10일에서 14일 사이 영동지역의 폭설이 동기간 강릉을 찾는 방문객수에 미친 영향을 강릉 톨게이트 1종 차량 유입량 데

이터를 이용하여 분석하였다. 분석결과는 신적설 1cm가 증가할 때 일 유입교통량이 1% 정도 감소하는 것을 보여주었다. 또한 폭설이 진행되는 기간에는 적설이 없었던 기간에 비해 최대 약 70%의 교통량이 감소하였으며 폭설기간이 종료된 이후에

Table 8. Estimation Results, Model (3).

Vehicle type-1		Model (3)
► Day of week		
Friday	0,204** (2,289)	
Saturday&Sunday	0,186*** (2,891)	
Holiday	0,688***** (6,236)	
► Disaster		
<i>Devent_d</i>	−0,704***** (−8,136)	
<i>Devent_{d+1}</i>	−0,719***** (−3,923)	
<i>Devent_{d+2}</i>	−0,340* (−1,853)	
<i>Devent_{d+3}</i>	−0,193 (−1,052)	
<i>Devent_{d+4}</i>	−0,059 (−0,299)	
<i>Devent_{d+5}</i>	0,159 (0,851)	
Constant	8,769***** (229,854)	
R2	0,7864	
N	48	

Durbin's alternative test for autocorrelation

lags(p) : 1
chi2 : 0.122
df: 1
Prob>chi2 : 0.7265

Max VIF : 1.29, Mean VIF : 1.10

* p<0.10, ** p<0.05, *** p<0.01, **** p<0.001

Table 9. Estimation Results, Model (4).

Vehicle type-1	Model (4)	<div>Durbin's alternative test for autocorrelation</div> <div>lags(p) : 1 chi2 : 0.002 df: 1 Prob>chi2 : 0.9604</div> <div>Max VIF : 1.30, Mean VIF : 1.11</div>
► Day of week		
Friday	0,198** (2,292)	
Saturday&Sunday	0,189*** (3,115)	
Holiday	0,712***** (6,616)	
► Disaster		
<i>Devent_d</i>	-0,680***** (-7,990)	
<i>Devent_{d+1}</i>	-0,695***** (-3,904)	
<i>Devent_{d+2}</i>	-0,316* (-1,773)	
<i>Devent_{d+3}</i>	-0,169 (-0,947)	
<i>Devent_{d+4}</i>	-0,029 (-0,149)	
<i>DeventAfter_{d+5}</i>	0,127* (1,824)	
Constant	8,745***** (222,293)	
R2	0,7998	
N	48	

* p<0.10, ** p<0.05, *** p<0.01, **** p<0.001

도 2~4일 정도가 지나서야 강릉으로 유입되는 교통량이 비적설시와 같이 회복되는 것을 보여주었다. 폭설이 진행되는 기간 중 강릉으로 유입되는

교통량이 현저하게 감소한 것은 적설로 인한 도로 이용의 위험성 증가 및 시설물에 대한 접근성의 저하 때문으로 해석된다. 또한 폭설이 종료된 이후

2~4일 정도가 지나서 교통량이 비적설일과 같은 수준으로 회복된 것을 폭설로 인해 쌓인 눈의 제설 작업을 완료하여 교통망 등 도시기능을 정상적으로 회복하기 위해 일정 시간이 필요한 현실을 반영하는 것으로 해석된다. 폭설은 지속되는 기간 동안 해당지역으로 유입되는 교통량을 감소시킬 뿐만 아니라 제설을 통해 교통망 등 도시기능이 정상적으로 복구되기까지 종료된 후에도 도시 내 경제 활동을 저해하는 간접적 영향을 미치는 효과가 있다. 그동안 우리나라에서의 폭설의 경제적 피해에 대한 논의는 주로 적설이 구조물에 주는 직접적 피해에 대한 논의에 한정이 되어왔다. 본 연구의 결과는 폭설이 종료된 이후에도 피해지역의 도시기능을 일정기간 저해하는 역할을 수행하는 것을 보여준다.

폭설로 인한 부정적 영향을 보다 정확히 파악하기 위해서는 이러한 폭설이후의 도시기능 저해효과를 경제적 비용으로 환산하는 시도가 필요할 것이다. 후속연구를 통해 이러한 경제적 비용이 측정된다면 도시기능 저해기간을 단축하기 위한 보다 효율적인 제설시스템이 구축될 경우 이 시스템의 경제적 타당성을 평가하기 위한 요소로 이용될 수 있을 것이다.

사사

이 연구는 기상청 기후변화 감시·예측 및 국가정책 지원 강화사업(APCC-2013-3150)의 지원에 의해 수행되었습니다.

주

- 1) 2014년 2월 6일에서 14일까지 강릉시에 총 175cm의 기록적 폭설이 내려 지역경제가 어려움을 겪자 강릉시장은 “이

번 폭설로 인해 관광객 감소와 상경기 침체라는 이중고를 겪고 있다. ...관광객 여러분이 강릉에 여행을 오시는 것이 자원봉사나 다름이 없다”라는 취지의 호소문을 발표했다(경향신문, 2014년 2월 20일).

- 2) 2011년 2월 17일에는 0.0cm인 소량의 신적설이 기록되었으나 적설일에서 제외하였다.
- 3) 한국도로공사, 2013 고속도로 교통량 통계, 2014.9.
- 4) RSA(실황분석자료, Real State Analysis)는 국립기상연구소에서 동네예보 지원을 위해 생산한 격자(5×5km)자료이다.
- 5) 오차항의 1계 시계열 자기상관이 존재에 대한 검증은 Durbin's alternative test for autocorrelation에 의해 이루어졌다. Newey-West Estimator와 Durbin's alternative test for autocorrelation에 상세한 설명은 Beckett(2013)을 참조하기 바란다.

참고문헌

- Andrey, J., Mills, B., Leahy, M., and Suggett, J., 2003, Weathers as a chronic hazard for road transportation in Canadian cities, *Natural Hazards*, 28, 319-343.
- Baek, S. K., Jeong, S. Y., Lee, T. K., and Won, J. M., 2010, Analysis of snowing impacts on freeway trip characteristics using TCS data, *Korea ITS Journal*, 9(4), 68-79 (in Korean).
- Beckett, S., 2013, *Introduction to Time Series Using Stata*, Stata Press.
- Böcker, L., Dijst, M., and Prillwitz, J., 2013, Impact of everyday weather on individual daily travel behaviours in perspective: A literature review, *Transport reviews*, 33(1), 71-91.
- Datta, S., and Sharma, S., 2008, Impact of cold and snow on temporal and spatial variations of highway traffic volumes, *Journal of Transport Geography*, 16(5), 358-372.
- Falk, M., 2010, A dynamic panel data analysis of snow depth and winter tourism, *Tourism Management*, 31(6), 912-924.
- Han, W. S., 2014, *Direction for dealing with snowfall disaster areas*, KRIHS POLICY BRIEF No. 450 (in Korean).

- 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, 159-164.
- Hassan, Y. Al., and Barker, D. J., 1999, The impact of unseasonable or extreme weather on traffic activity within Lothian region, Scotland, *Journal of Transport Geography*, 7(3), 209-213.
- HRI, 2014, *Snow and economies: The economic damages from snowfall and implications*, Hyundai Research Institute No. 554 (in Korean).
- Jeong, J. H., and Lee, S. H., 2014, Estimating the direct economic damages from heavy snowfall in Korea climate research, *Climate Research*, 9(2), 125-139 (in Korean).
- 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*, 37(1), 109-124.
- 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, 10-16.
- Korea Meteorological Agency, 2010, *Snow's economic value is more than rain*, News Briefing, 2010. 01. 08 (in Korean).
- Maze, T. H., Agarwal, M., and Burchett, G., 2006, Whether weather matters to traffic demand, traffic safety, and traffic operations and flow, *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 1948, 170-176.
- Töglhofer, C., Eigner, F., and Prettenhaler, F., 2011, Impacts of snow conditions on tourism demand in Austrian ski areas, *Climate Research*, 46(1), 1-14.

책임 편집: 이승호

영문 교열: 조창현