



대설의 경제적 피해* - 교통수요모형과 불능투입산출모형의 적용

Economic Loss Assessment caused by Heavy Snowfall - Using Traffic Demand Model and Inoperability I-O Model

문승운** · 김의준***

Moon, Seung-Woon · Kim, Euijune

Abstract

Heavy snow is a natural disaster that causes serious economic damage. Since snowfall has been increasing recently, there is a need for measures against heavy snowfall. In order to make a policy decision on heavy snowfall, it is necessary to estimate the precise amount of damage by heavy snowfall. The direct damage of the heavy snow is severe, however the indirect damage caused by the road congestion and the urban dysfunction is also serious. Therefore, it is necessary to estimate indirect damage of snowfall.

The purpose of this study is to estimate the effects on the regional economy from the limitation in traffic logistics caused by heavy snow using the transport demand model and inoperability input-output Model. The result shows that the amount of production loss caused by the heavy snow is KRW 2,460 billion per year and if the period of snowfall removal is shortened by one day or two days, it could be reduced to KRW 1,219 or 2,787 billion in production loss.

키 워 드 ■ *대설(폭설), 자연재난, 불능 투입산출모형, 교통수요모형*

Keywords ■ *Heavy Snowfall, Natural Disaster, Inoperability Input-output Model, Traffic Demand Model*

I. 서론

기후변화의 영향으로 대설¹⁾의 발생 빈도와 규모가 증가하고 있다.(IPCC, 2015) 대규모 대설은 도시의 기능을 마비시켜 인간의 생존을 위협하기도 하며,(박근오 · 김근영, 2011) 이러한 현상은 ‘스노마켓돈(snowmagedon)’²⁾을 넘어 ‘스노우포비아(snowphobia, 눈 공포증)’란 신조어까지 만들어냈다. 우리나라에서도 2000년 이후 연간 신적설량이 증가

하고 있으며, 특히 신적설량의 월별 집중도가 점점 높아짐에 따라 대설주의보 및 대설경보 발령 횟수가 2003년 이후 꾸준히 증가하고 있다.(현대경제연구원, 2014) 즉, 대설의 발생 빈도와 규모, 그리고 이로 인한 사회·경제적 손실이 전국에 걸쳐 확대되고 있으며,(김재호, 2013; 김현욱 외, 2015; 안소라 외, 2015) 따라서 대설 피해에 대한 대책 마련이 필요한 시점이다.

대설 대책을 위해서는 무엇보다 대설 피해에 대

* 이 논문은 2017년 대한민국 교육부와 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임. (NRF-2017S1A3A2066771)

This work was supported by the Ministry of Education of the Republic of Korea and the National Research Foundation of Korea (NRF-2017S1A3A2066771)

** Seoul National University

*** Seoul National University (Corresponding author: euijune@snu.ac.kr)

한 규모 파악이 선행되어야 한다. 그러나 아직까지 대설 피해에 대한 연구는 홍수, 태풍 등의 다른 자연재난에 비해 상대적으로 그 중요성이 간과되어왔다.(김근영 외, 2018) 또한, 그동안 우리나라에서 대설의 경제적 피해에 대한 논의는 주로 적설이 구조물에 주는 직접적 피해에 대한 논의에 한정되어 왔다.(손철 외, 2014) 그러나 대설은 지역간 인적·물적 이동을 불가능하게 하며, 발전 및 송전 시설을 훼손시키는 등 이로 인해 발생하는 간접적 피해가 상당하다.(박근오 · 김근영, 2011) 즉, 대설의 피해는 직접적인 피해보다도 도로정체, 도심기능 마비 등으로 발생하는 간접적 피해가 더욱 심각할 수 있기 때문에,(한우석, 2011) 대설의 정확한 피해 규모를 파악하기 위해서는 직접적인 피해뿐만 아니라 간접적인 피해를 반드시 고려해야 한다. 이때 간접적 피해란 직접적 피해에 의해 2차적으로 발생하는 파급효과(effect)로 정의할 수 있으며, 그 파급경로가 매우 다양하면서 비가시적이다. 따라서 대설의 간접적 피해를 추정하기 위해서는 직접적 피해의 유형을 구분하고, 간접적 피해의 대상을 한정할 필요가 있다. 대설은 교통수단을 마비시키는 가장 취약한 원인 중의 하나로,(설재훈, 2010) 기존에 도로가 제공할 수 있는 용량을 감소시킨다. 이로 인한 교통혼잡은 도시마비의 한 축을 담당하고 있을 만큼 매우 중요한 요소이며,(손영태 외, 2013) 도로는 이러한 대설 피해를 최소화하기 위해 인력, 물적 지원을 원할히 할 수 있는 시설로서 매우 중요하다.(설재훈, 2010) 또한, 고속도로와 같은 지역간 도로시설물의 용량저하는 지역간·산업간 물류피해를 야기하여 2차 피해를 발생시킨다. 그러나 대설에 의한 물류피해가 발생한다고 해도 이를 판단할 수 있는 척도가 존재하지 않고, 이에 대한 연구 또한 미흡한 실정이다.(손영태 외, 2013)

이러한 견지에서 본 연구는 대설로 인한 교통정체가 지역 산업에 미치는 파급효과 추정을 목적으

로 한다. 이를 위해 일단위의 기상자료 및 교통자료와 교통수요모형을 통해 대설이 교통에 미치는 피해를 추정하였으며, 이러한 피해를 충격으로 적용하여 지역간·산업간 경제효과를 분석할 수 있는 불능투입산출모형을 구축하였다. 그리고, 제설 기간을 시나리오로 설정하여, 구축한 분석 모형을 통해 시나리오별 생산차질액을 추정하였다.

지금까지 서론으로써 본 연구의 배경 및 목적에 대해서 설명했다. 이후 2장에서 대설의 직접효과와 간접효과, 대설피해를 위한 방법론 등을 주제로 문헌 고찰하고, 3장은 분석방법, 4장은 분석결과를 제시한다. 5장은 결론으로 본 연구의 의의와 한계를 논한다.

II. 선행 연구 고찰

1. 대설의 피해

최근 기록적인 대설로 인해 도시의 기능이 마비되는 사례가 전세계적으로 발생하고 있다. 2016년 미국 동부 지역에서는 100년만의 대설, 중국 위구르자치구는 관측 이래 최대인 최고 200cm의 대설, 일본 히로시마도 115년만의 최대 대설을 기록하였고, 2017년에는 영국을 비롯한 유럽 전역에서 기록적인 대설이 발생하였다.(기상청, 2017) 이 대설들은 각 도시의 전기, 수도, 난방 등을 중단시켰으며, 도로, 철도, 항공 등 모든 교통을 단절시켰다. 이러한 양상은 우리나라도 예외는 아니다. 2010년 1월 서울은 100년만의 대폭설(25.8cm/1일)로 도로가 마비되고 지하철마저 운행이 지연되면서 대혼란을 겪었다. 2014년 1월 강릉지역의 대설은 관측 이래 최대 적설량을 기록하였으며, 이로 인해 132개의 학교가 휴교를 하였고 주택 파손 등으로 100억 원의 피해가 발생하였다. 2016년 1월 제주도에서 32년만의 대설은 제주국제공항을 사흘간 폐쇄시켰으며 이

로 인해 공항이용객 8만 6천 명이 고립되는 사태가 빚어졌다. 2017년 1월 영동지역에 최대 35cm 대설로 인해 동해고속도로와 국도 7호선이 마비되었다. (기상청, 2018) 이상의 경우에서와 같이 대설과 같은 자연재해로 인한 자산 손실 중 교통망의 손실은 주변지역에 막대한 경제적 파급효과를 가져온다.(Gordon et al., 1998; Tsuchiya et al., 2007) 대설이 교통측면에 미치는 부정적 영향은 구체적으로 교통사고 위험성과 교통혼잡의 증가(Datla and Sharma, 2008) 그리고 이로 인해 운전자가 자동차를 이용하여 도로로 나오는 것을 억제하는 효과(Knapp and Smithson, 2000) 등이 있으며, 대설이 지속되는 기간 동안 해당지역으로 유입되는 교통량을 감소시킨다. 이러한 부정적 영향은 제설 기간은 물론 제설이 종료된 후에도 도시 내 경제활동을 저해하여 간접적 피해를 유발한다.(손철 외, 2014)

국내에서 대설의 경제적 피해를 추정한 연구로는 현대경제연구원(2014), 정준호·이승호(2014), 권순호·정건희(2017) 등이 있다. 현대경제연구원(2014)은 토빗모형을 통해 우리나라에서 적설이 1mm 증가할 때 1억 9,000만 원의 피해가 증가하고, 적설로 인한 교통혼잡비용은 연간 2,500억 원으로 추정하였다. 정준호·이승호(2014)는 다중회귀식을 이용하여 적설 1mm 증가에 따른 한계 피해액이 3.4억 원이라고 밝혔다. 권순호·정건희(2017)는 기후관련 요인(최심적설량, 평균습도, 최저기온), 사회·경제적 요인(농촌지역인구밀도, 지역총생산량)을 독립변수로 대설피해액을 산정하는 다중회귀식을 구축하여, 이들 독립변수들을 통해 대설피해액을 산정할 수 있음을 보였다. 선행연구들은 적설량을 독립변수로 하고, 대설피해액을 종속변수로 하는 회귀식을 통해 외삽적으로 피해액을 추산하거나, 기존의 연구에서 교통지체량과 교통혼잡비용을 발췌하여 산정하는 방식을 취하고 있다. 즉, 이들 연구는 모두 적설로 인한 직접 피해액만을 다루고 있다. 그러나 언급한

바와 같이 대설의 피해는 직접피해보다 간접피해가 더욱 클 수 있기 때문에, 대설의 정확한 피해규모를 파악해야 하기 위해서는 간접피해를 고려해야 한다. 또한 선행연구들은 자료 구득이 가능한 연간자료만을 이용하고 있다. 그러나 대설과 같은 기상조건은 시시각각으로 변하기 때문에 연단위로 취합된 자료를 이용할 때 상당한 편의가 발생 할 수 있다. 따라서, 본 연구에서는 대설로 인한 교통량 감소가 지역산업에 미치는 직·간접적인 경제효과를 분석하고자 하며, 이를 위해 일단위의 교통자료와 기상자료를 이용한 교통경제모형을 구축하고자 한다.

2. 대설 피해 추정 방법론

교통경제모형이란 교통모형과 지역경제모형이 결합된 모형으로, 교통기능의 증감이 사회경제적으로 어떠한 영향을 미치는지, 또는 사회경제적 변화가 교통 수요에 어떠한 미치는 영향을 미치는지를 분석할 수 있다. 따라서 대설로 인한 교통감소가 지역경제에 어떠한 영향을 미치는지 파악하는 본 연구의 목적에 적합한 모형이라고 할 수 있다. 교통경제모형에서 교통모형은 여객통행과 화물통행을 아우르는 교통수요모형(Traffic Demand Model)이 주로 이용되며, 지역경제모형으로는 투입산출모형이 주로 활용되고 있다. 따라서, 본 연구도 이 두 모형을 결합하여 교통경제모형을 구축하고자 한다.

1) 교통수요모형

교통수요분석(transportation demand analysis)은 교통수요를 결정하는 요소가 무엇인지, 그리고 이들 요소가 교통량 변화에 어떠한 영향을 미치는지에 대한 인과관계를 분석하는 것이다.(Kanafani, 1983, 윤대식, 2001 재인용) 일반적으로 교통수요에 영향을 미치는 요소들은 통행목적, 시간대, 출발

지와 목적지, 교통수단, 통행경로 등 다양한 특성으로 구분된다. 교통수요분석의 방법론은 접근방식에 따라서 순차적 모형(sequential model)과 통합모형(combined model)으로 구분할 수 있다.(임용택 외, 2013) 순차적 모형은 통행수요를 통행발생(trip generation), 통행분포(trip distribution), 수단선택(mode choice), 통행배정(trip assignment) 등의 단계로 나누어 차례대로 추정하는 모형이며, 통합모형은 순차적 모형의 각 단계의 부분 또는 전체를 통합하여 교통수요를 예측하는 모형으로 그 통합방식에 따라 여러 형태가 있을 수 있다. 그 중에서 통행배정단계를 제외하고 계량경제모형을 적용하여 통행발생과 통행분포 및 수단선택단계를 동시에 추정하는 직접수요모형(direct demand model)이 대표적인 통합모형에 속한다.(노정현, 2013) 직접수요모형은 세 가지 단계를 하나로 통합하여 손쉽게 추정할 수 있다는 용이성이 있다.

교통의 직접수요모형에서는 중력모형이 많이 쓰인다. 중력모형은 뉴턴의 중력모형을 통행분포에 적용한 모형으로, 중력이 물체의 크기와 거리에 의해 결정되듯이 교통량은 지역 규모와 지역간 거리에 의해 결정된다고 가정한다. 지역(목적지 또는 도착지)의 규모를 나타내는 변수로는 인구, 소득, 사업체수 등 다양한 경제변수를 이용할 수 있다. 이러한 기본적인 중력모형은 연구 목적에 따라 변수를 추가할 수 있다. 본 연구에서는 적설량, 강수량, 최저기온 등의 일일 기상변수를 추가하였다. 적설량이 교통량에 미치는 영향을 분석한 실증연구는 다수 존재한다.(백승걸 외, 2010; Hanbali and Kuemmel, 1993; Hassan and Barker, 1999; Knapp and Smithson, 2000; Maze et al., 2006; Datla and Sharma, 2008) 이들 연구에 따르면 강설일에는 비강설일에 비해 작게는 7.3%의 교통량이 감소하고, 강설 정도에 따라 최대 80%의 교통량이 감소하는 것으로 나타났다. 손철 외(2014)은 강릉지

역을 대상으로 하여, 대설 기간에 최대 약 70%의 교통량이 감소하고, 대설이 그친 이후에도 2~4일 정도가 지나서야 교통량이 비적설시와 같이 회복되는 것을 보여주었다. 이러한 기간은 대설로 인한 제설작업이 완료되기까지의 기간으로 교통망 등 도시기능을 정상적으로 회복하기 위해서는 일정 시간이 필요하기 때문이다. 선행연구들에서는 강설량 외에도 최저기온, 강수량, 가시거리 등이 교통량에 영향을 미치고 있음을 보이고 있다.

2) 불능투입산출모형

Haines and jiang(2001)은 투입산출모형³⁾을 확장하여 테러, 재난 등의 외부충격이 전체 경제에 미치는 영향을 분석할 수 있는 불능투입산출모형(Inoperability Input-Output Model, 이하 IIOM)을 개발하였다. 불능도(inoperability)란 정상상태를 기준으로 외부의 충격에 의해 영향 받은 정도를 의미하며, 기대되던 생산량을 기준으로 재난으로 인한 생산능력의 저하의 정도를 나타낸다. 따라서 본 연구에서의 불능도는 [(대설로 인한 교통 감소량) / (평상시의 교통량)]으로 정의될 수 있으며 세부적인 구축방법은 다음과 같다.

지역산업연관표는 지역별·산업별 중간수요, 최종수요 및 총산출량으로 구성되며 이들 간의 관계를 수식으로 표현하면 식(2)과 같다. 식(2)에서 R과 S는 지역을 나타내며, i와 j는 산업을 나타낸다. x_{ij}^{RS} 은 R지역의 i산업에서 S지역의 j산업으로의 중간재투입량을 나타내며, F_i^R 은 R지역, i산업의 최종수요, x_i^r 은 r지역, i산업의 총투입량(=총산출량)을 나타낸다. 투입계수($a_{ij}^{RS} = A$)는 각 중간투입량을 총투입량(=총산출량)으로 나눈 값이다. 각 부문 생산물 1단위 생산에 필요한 각종 중간재 및 부가가치의 단위를 나타내기 때문에 각 품목부문의 생산기

슬구조, 즉 투입과 산출의 생산함수를 의미한다.(한국은행, 2014)

$$x_i^R = \sum_{s=1}^{16} \sum_{j=1}^8 x_{ij}^{RS} + f_i^R \quad \text{식(2)}$$

$$\Leftrightarrow x_i^R = \sum_{s=1}^{16} \sum_{j=1}^8 a_{ij}^{RS} x_j^S + f_i^R$$

$$\Leftrightarrow X = AX + F$$

위의 식을 바탕으로 하여 불능 투입산출모형을 나타내면 식(3)과 같다. $\hat{x}$ 는 정상상태일 때 기대되는 산출량이며, $\tilde{x}$ 는 재난으로 인해 생산에 차질이 생겼을 때의 산출량이다. 즉, 대설이 없는 평상시의 육상수송서비스 산업의 산출량은 $\hat{x}$ 이며, 대설로 인해 감소한 육상수송서비스 산업의 산출량은 $\tilde{x}$ 이다. q 는 평상시에 기대되었던 산출량($\hat{x}$) 대비 재난으로 인해 감소한 산출량($\hat{x} - \tilde{x}$)의 비율이며, 대설로 인한 생산량 감소율 즉, 불능도(inoperability)를 의미한다. A^* 는 지역간·산업간의 상호의존(inter-dependency) 정도를 나타내는 행렬이다. A^* 의 원소인 A_{ij}^{rs*} 는 s 지역의 j 산업의 생산량 감소(불능도)가 r 지역의 i 산업에 미치는 영향을 의미한다. f^* 는 재난으로 인해 발생한 최종수요의 감소율을 나타낸다. 생산유발계수($(I - A)^{-1}$)가 특정 산업의 최종수요 한단위가 증가함에 따른 타산업으로의 생산유발효과를 나타낸다면, $(I - A^*)^{-1}$ 는 재난 등으로 인해 불능도만큼 특정산업의 산출량이 감소했을 경우 타산업으로의 생산감소효과를 나타낸다.

$$q = A^* q + f^* \Leftrightarrow q = (I - A^*)^{-1} f^* \quad \text{식(3)}$$

$$q_i = \frac{\hat{x}_i - \tilde{x}_i}{\hat{x}_i} \quad \forall i$$

$$q = [(diag(\hat{x}))^{-1}(\hat{x} - \tilde{x})]$$

= vector of resulting normalized production loss

$$A^* = [(diag(\hat{x}))^{-1} A (diag(\hat{x}))]$$

= interdependency matrix

$$f^* = [(diag(\hat{x}))^{-1}(\hat{f} - \tilde{f})]$$

= vector of normalized degraded demand

III. 분석 방법

본 연구의 분석 순서는 그림 1과 같다. 우선 강설량, 기온 등의 일일 기상자료, 일일 교통량, 지역 경제지표 등을 취합하였다. 이들 자료는 공간적·시간적 집계단위가 상이하기 때문에 동일한 교통존과 일일단위로 구분·정렬하여 O-D 행렬을 구축하였다. 이러한 분석자료를 이용하여 교통수요모형을 통해 대설이 교통수요 감소에 미치는 영향을 추정하였으며, 추정결과 및 시나리오별 적설량을 IMIOM에 적용하여 교통량 감소가 지역경제에 미치는 영향을 추정하였다.

1. 분석 자료

본 연구에서 이용한 기상자료는 종관기상관측장비(Automated Synoptic Observing System, ASOS)에서 관측된 일별자료이다. ASOS는 신적설량, 기온, 강수 등의 기상요인을 1분마다 기록하는 장치로 전국적으로 94개가 설치되어 있다.(그림 2) 이렇게 기록된 자료는 기상청 기상자료개발포털을 통해 전지점의 분, 일, 월 또는 연단위의 기상자료를 구득할 수 있다. 교통량 자료는 요금징수 기계화설비(Toll Collection System, TCS)에서 집계된 자료를 이용하였다.¹⁾ TCS는 전국의 고속도로 영업소 343개 지점에 설치되어 있으며,(그림 2) 이 장치를 통해 고속도로를 이용하는 차량들의 출발·도

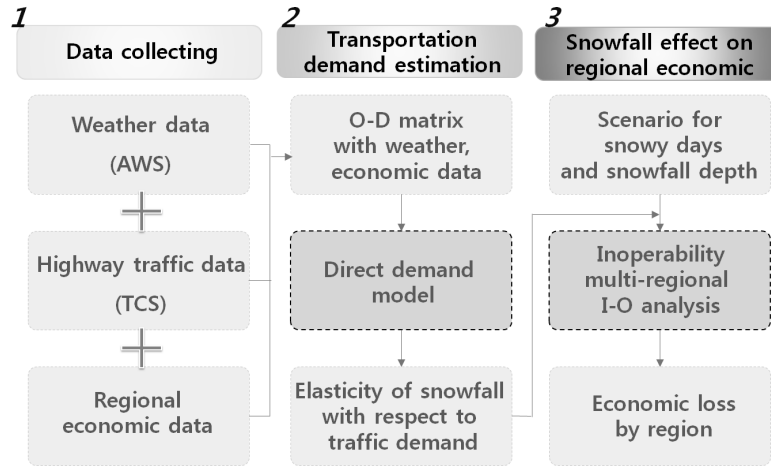


그림 1. 분석 절차
Fig. 1. Research flow

착지(O-D), 차종, 통행시간 등의 자료를 5분 간격으로 집합화하여 기록하고 있다. 이렇게 구축된 자료는 한국도로공사의 고속도로 공공데이터 포털을 통해 구득할 수 있다. 지역경제지표는 249개 시군구별 인구, 고용자수, 면적, 소득, 자동차 등록대수 등의 통계청 자료를 이용하였다.(그림 2) 이렇게 구득한 2011년 11월부터 2012년 4월까지⁵⁾의 일일자료를 114개 교통구역(traffic zone)⁶⁾으로 조정하여 취합하였다. 또한, 기상정보와 교통존의 공간적 위계가 다르기 때문에 이에 대한 조정이 필요하다. 교통존 내에 1개소의 기상관측소가 있을시 해당 기

상정보를 적용하였고, 교통존 내에 다수의 기상정보가 있을 시에는 평균값을 이용하였다. 그리고 교통존에 기상관측소가 없을시에는 최근접 2개 기상관측소의 평균값을 이용하였다.

2. 교통 수요 추정

본 연구에서는 중력모형을 기반으로 한 직접수요모형을 통해 교통수요를 추정하였다. 종속변수는 하이패스 교통량 조사의 2종부터 5종 차량까지의 일일 교통량이며,(표 1) 독립변수는 출발지와 목적지

표 1. 차종 분류
Table 1. Vehicle type

Type	Classification criteria
Class 1 (compact car)	two-axle vehicle, width less than 279.4mm
Class 2 (midsize car)	two-axle vehicle, width more than 279.4mm, length less than 1800mm
Class 3 (full-sized car)	two-axle vehicle, width less than 279.4mm, length more than 1800mm
Class 4 (lorry)	three-axle vehicle, heavy lorry
Class 5 (special truck)	four-axle vehicle, special lorry
Class 6 (compact car)	Displacement less than 1000cc, L 3.6m, W 1.6m, H 2.0m or less

의 사업체수와 출발지-목적지간 거리를 기본적인 변수로 하여 일일적설량, 일일강우량, 최저기온, 휴무일 더미 등을 추가하였다.

지역(목적지 또는 도착지)의 규모를 나타내는 변수로 인구, 소득, 사업체수 등 다양한 경제변수를 이용할 수 있지만, 본 연구에서는 고용자수를 이용하였다. 산업간 거래는 화물수요가 중요한 역할을 하며, 화물수요는 지역의 인구보다는 사업체수나 고용자수와 같은 산업 활동을 대리하는 변수가 더 적합하다고 판단하였으며, 사업체 수의 경우는 서로 다른 사업체의 규모가 반영되지 못하는 한계(1000명을 고용한 사업체와 5명을 고용한 사업체가 동일하게 적용)가 있으므로 고용자수를 변수로 이용하였다.⁷⁾

적설량 변수는 해당일의 적설량 뿐만 아니라 1일전, 2일전, 3일전까지의 적설량을 변수로 추가하여 제설기간의 영향을 파악하고자 하였으며, 대설주의보 및 대설경보의 기준인 20cm 및 5cm 이상 적설량을 기록할 때가 1인 더미변수를 설정하였다. 또한 일일자료를 이용한 분석이므로 평일과 공휴일을 구분할 필요가 있기 때문에, 토요일, 일요일, 공휴일을 더미변수로 추가하였다. 이에 대한 추정식은 식3과 같으며, 그 추정결과는 표 1과 같다.

추정결과를 살펴보면 출발지와 도착지의 사업체수가 많을 수록, 그리고 출발지와 도착지의 거리가 가까울수록 교통량이 많아지는 것을 알 수 있다. 출발지와 목적지에 비가 많이 올수록 교통량이 감소하고, 최저온도가 높을수록 교통량이 증가한다. 화물운송의 특성상 노동자가 쉬는 토요일, 일요일, 공휴일 등의 휴무일에는 교통량이 감소하고 있다. 본 연구의 중요변수인 적설량 변수의 계수가 음수로 나타나, 출발지와 도착지의 적설량이 많을수록 교통량이 감소하는 것을 알 수 있다. 모형 4를 기준으로 적설량 계수를 해석한다면, 출발지에서 눈이 1cm가 내리면 당일의 교통량은 1.1%가 감소하며,

도착지에 눈이 1cm가 내리면 당일의 교통량은 0.7% 감소한다. 그러나 이러한 당일의 교통 감소량은 통계적으로 유의미하지 않게 나왔다. 오히려 눈이 내린후 1일후, 2일후, 및 3일후의 교통감소량이 당일의 교통감소량보다 더 크고 통계적으로도 유의미한 것으로 나타났다. 이는 눈이 내리고 있는 당일에는 당장 계획되어 있는 운행을 변경하기는 쉽지 않고, 해당지역의 도로상황을 파악하는데 어느정도 시간이 필요하나, 눈이 내린 후 어느정도 시간이 지난 후에는 해당지역의 도로상황을 확실히 알 수 있으며, 이에 따라 운행계획을 변경할 수 있기 때문으로 해석할 수 있다. 또한, 출발지에 눈이 5cm 미만으로 내린다면 비례적으로 교통량은 4.4%가 감소하지만, 만약 대설주의보인 5~20cm의 눈이 내린다면 더미변수로 인해 비례적인 증가이외에도 추가적으로 23.1%가 더 감소하며, 대설경보인 20cm이상일 경우에는 추가적으로 37.8%가 더 감소할 것이라고 예상할 수 있다. 즉, 대설경보나 대설주의보 정도의 대설이 내릴 경우 교통량 감소는 더욱 심각하다는 것을 알 수 있다.

3. 불능투입산출모형과 적설량 시나리오

불능투입산출모형은 한국은행에서 제공하는 2013년 한국 16개 지역산업연관표(기초가격, 중분류)를 이용하여 구축하였다. 지역산업연관표의 82개의 산업을 연구목적과 분석의 효율성을 감안하여 1차산업, 제조업(고중량), 제조업(저중량), 서비스업, 육상운송서비스, 수상운송서비스, 항공운송서비스, 창고 및 운송보조서비스, 음식점 및 숙박서비스 등 9개로 분류·통합하였다.

폭설로 인한 경제적 피해는 불능투입산출모형(식(4))을 통해 도출한다. 즉, 대설로 인한 각 지역별·산업별 생산차질(q)은 상호의존행렬(A^*)과 최종수

$$\begin{aligned}
\ln(Freight) = & \alpha_0 + \alpha_1 \ln(O_emp) + \alpha_2 \ln(D_emp) + \alpha_3 \ln(Distance) \\
& + \alpha_4(O_newsnow) + \alpha_5(O_newsnow.L1) + \alpha_6(O_newsnow.L2) + \alpha_7(O_newsnow.L3) \\
& + \alpha_8(D_newsnow) + \alpha_9(D_newsnow.L1) + \alpha_{10}(D_newsnow.L2) + \alpha_{11}(D_newsnow.L3) \\
& + \alpha_{12}(O_rainfall) + \alpha_{13}(D_rainfall) + \alpha_{14}(O_lowtemp) + \alpha_{15}(D_lowtemp) \\
& + \alpha_{16}Dummy_O_5up + \alpha_{17}Dummy_D_5up + \alpha_{18}Dummy_D_20up + \alpha_{19}Dummy_D_20up \\
& + \alpha_{20}Dummy_SAT + \alpha_{21}Dummy_SUN + \alpha_{22}Dummy_Holiday + \epsilon
\end{aligned}$$

식(3)

Variable	description	unit
<i>Freight</i>	Freight vehicle traffic	car
<i>O_emp (or D_emp)</i>	Number of employee at origin (destination) region	person
<i>Distance</i>	Distance between origin and destination	Kilometer
<i>O_newsnow (or D_newsnow)</i>	Snowfall during the day at origin (destination) region	centimeter
<i>O_newsnow.L1, L2, or L3</i>	Snowfall one, two, or three day ago	centimeter
<i>O_rainfall (or D_rainfall)</i>	Precipitation the day at origin (destination) region	millimeter
<i>O_lowtemp (or D_lowtemp)</i>	The lowest temperature of the day at origin (destination) region	°c
<i>dummy_O_5up (or dummy_D_5up)</i>	Dummy variable: 1 if snowfall is 5~20cm, 0 if not	0 or 1
<i>dummy_O_20up (or dummy_D_20up)</i>	Dummy variable: 1 if snowfall is more than 20cm, 0 if not	0 or 1
<i>dummy_SAT</i>	Dummy variable: 1 if the day is Saturday, 0 if not	0 or 1
<i>dummy_SUN</i>	Dummy variable: 1 if the day is Sunday, 0 if not	0 or 1
<i>dummy_Holiday</i>	Dummy variable: 1 if the day is holiday, 0 if not	0 or 1

표 1. 추정 결과

Table 1. Estimation result

Variable	Model 1		Model 2		Model 3		Model 4	
	Coefficient	S.E.	Coefficient	S.E.	Coefficient	S.E.	Coefficient	S.E.
<i>ln_O_emp</i>	0.574***	0.0025	0.574***	0.0025	0.575***	0.0025	0.575***	0.0025
<i>ln_D_emp</i>	0.595***	0.0025	0.594***	0.0025	0.594***	0.0026	0.594***	0.0026
<i>ln_Distance</i>	-0.650***	0.0032	-0.650***	0.0032	-0.649***	0.0033	-0.648***	0.0033
<i>O_newsnow</i>	-0.014	0.0089	-0.014	0.0089	-0.011	0.0090	-0.011	0.0090
<i>O_newsnow.L1</i>					-0.023***	0.0070	-0.024***	0.0070
<i>O_newsnow.L2</i>					-0.019**	0.0069	-0.016**	0.0070
<i>O_newsnow.L3</i>							-0.018***	0.0068
<i>D_newsnow</i>	-0.012	0.0089	-0.011	0.0087	-0.006	0.0088	-0.006	0.0088
<i>D_newsnow.L1</i>					-0.016**	0.0069	-0.017**	0.0069
<i>D_newsnow.L2</i>					-0.014**	0.0066	-0.011*	0.0068
<i>D_newsnow.L3</i>							-0.014**	0.0065
<i>dum_O_5up</i>	-0.223**	0.0953	-0.223**	0.0953	-0.223**	0.0953	-0.220**	0.0953
<i>dum_D_5up</i>	-0.169*	0.0981	-0.177*	0.0978	-0.177*	0.0978	-0.181*	0.0978
<i>dum_O_20up</i>	-0.337***	0.0792	-0.337***	0.0792	-0.337***	0.0792	-0.205**	0.0831
<i>dum_D_20up</i>	0.079	0.0721						
<i>dum_O_rainfall</i>	-0.002***	0.0007	-0.002**	0.0007	-0.002***	0.0007	-0.002***	0.0008
<i>dum_D_rainfall</i>	-0.002**	0.0008	-0.002**	0.0008	-0.002**	0.0008	-0.002**	0.0008
<i>dum_O_lowtemp</i>	0.008***	0.0006	0.008***	0.0006	0.007***	0.0006	0.007***	0.0006
<i>dum_SAT</i>	-0.183***	0.0108	-0.183***	0.0108	-0.183***	0.0108	-0.181***	0.0109
<i>dum_SUN</i>	-0.626***	0.0110	-0.626***	0.0110	-0.624***	0.0110	-0.625***	0.0110
<i>dum_Holiday</i>	-0.527***	0.0263	-0.527***	0.0263	-0.543***	0.0269	-0.544***	0.0269
<i>Constant</i>	-2.761***	0.0685	-2.759***	0.0685	-2.768***	0.0690	-2.775***	0.0692
<i>Number of obs</i>	187,373		187,373		184,827		183,542	
<i>Adj R-squared</i>	0.3769		0.3769		0.3769		0.3769	

p-value ***<0.01, **<0.05, *<0.1

요 감소율(f^*)을 통해 산출할 수 있다. 상호의존행렬은 기본적인 경제모형이라고 볼 수 있으며, 산업연관표에서 투입계수(또는 배분계수)를 기반으로 생성할 수 있다. 대설로 인한 최종수요 감소율(f^*)은 경제에 미치는 초기충격(폭설로 인한 교통수요 감소율)을 의미하며 교통수요 모형의 추정결과와 시나리오별 적설량·적설일을 적용하여 산정할 수 있다. 이 때 교통수요모형의 추정결과는 일단위의 변화를 나타내며, 불능 투입산출모형은 연간단위의 모형이므로 이를 연계하기 위해 식(5)와 같이 일단위의 교통수요감소율을 연간단위의 교통수요감소율로 변경하는 과정이 필요하다. 일단위 평균적설량과 적설일을 식(5)에 대입하여 시나리오별 연간단위 교통수요 감소량(불능도)을 산정하였다. 이 때 시도별 일일 적설량과 연간 적설일수는 박희성 외 (2014)에서 제시한 과거 50년간의 신적설일수와 최심신적설량의 평균값을 참조하였다.

$\begin{aligned} \text{연단위 교통수요 감소량}(f^*) (\%) = \\ [(\text{일일 적설량}_{(\text{mm})} \times (1 - \text{일단위 교통수요 감소율}) (\%/ \text{mm}) \\ \times \text{적설일수}_{(\text{일})}) + \text{비적설일수}_{(\text{일})}] / 365_{(\text{일})} \end{aligned}$	식 (5)
--	----------

시나리오는 제설작업기간의 단축 기간을 설정하여 대설로 인한 피해 규모 변화를 살펴보았다. 시나리오의 베이스라인은 제설기간이 3일 동안 이루어질 경우이다. 이를 기준으로 하여 제설완료기간이 2일, 1일로 단축될 경우를 시나리오로 설정하였다. 시나리오별 교통수요 감소율은 교통수요모형의 1일 전, 2일 전, 3일 전 적설량을 변수를 이용하였다. 즉, 연단위 교통수요 감소량 산정시 이용한 일단위 교통수요 감소율은 3일째까지 제설이 되지 않았을 경우에는 당일~3일전까지의 교통수요감소율을 모두 더한 값(0.117)이며, 2일은 당일~2일전까지의 합(0.085), 1일은 당일과 1일의 합(0.058)이 적용되었다. 이렇게 산정된 교통수요 감소량을 식(4)에 대입하여 전체산업에 미치는 파급효과를 분석하였다. 이

$$q = (I - A^*)^{-1} f^* \quad \text{식(4)}$$

표 2. 적설 시나리오에 따른 지역별 불능도
Table 2. Regional Inoperability by snowfall scenario

	연평균 적설량 및 적설일수		제설기간별 불능도(일일)			제설기간별 불능도(연간)		
	평균 적설량 Snowfall (cm)	적설일	3day	2day	1day	3day (Baseline)	2day	1day
Seoul	2.6	24.8	0.011	0.058	0.058	2.03%	1.47%	1.00%
Incheon	2.1	25.7				1.73%	1.26%	0.86%
Gyeonggi	3.4	30.3				3.26%	2.37%	1.61%
Daejeon	2.9	29.6				2.70%	1.96%	1.34%
Chung-buk	2.4	27.4				2.13%	1.55%	1.06%
Chungg-nam	2.3	30.3				2.25%	1.63%	1.11%
Gwangju	2.4	33.0				2.56%	1.86%	1.27%
Jeon-buk	2.6	30.9				2.55%	1.86%	1.27%
Jeon-nam	1.9	19.4				1.21%	0.88%	0.60%
Daegu	2.0	10.0				0.65%	0.48%	0.32%
Gyeong-buk	2.7	14.9				1.31%	0.95%	0.65%
Busan	1.2	5.0				0.20%	0.14%	0.10%
Ulsan	1.3	6.0				0.24%	0.17%	0.12%
Gyeong-nam	1.9	7.6				0.45%	0.33%	0.22%
Gangwon	4.0	26.7				3.40%	2.47%	1.69%

러한 시나리오에 따른 지역별 적설량과 이를 이용하여 산정한 불능도 결과는 [표 2]와 같다.

4. 분석 결과

적설량 시나리오에 따라 산정된 불능도를 불능 투입산출모형에 적용하여 분석한 경제적 손실은 [표 3]과 같다. 우리나라에서 1년 동안 대설로 인해 산업의 생산차질액은 2조 4596억 원이다. 지역별로 가장 큰 생산차질액을 보이는 지역은 서울이며 다음으로 경기도이다. 대설이후 신속한 대응을 통해 제설기간을 1일 단축한다면 673억 원의 생산차질액 감소가 발생하며, 2일 단축한다면 1조 240억 원의 생산차질액 감소를 유발할 수 있다. 즉, 동절기 대설을 대비한 사전 예방 및 신속한 대응이 대설에 의한 피해 방지에 효과적인 것을 알 수 있다. 또한, 대설로 인해 국내총생산(GDP)은 0.068%가

감소하는 것으로 나타났으며, 지역별로는 강원 0.121%, 대전이 0.109%, 서울이 0.097% 감소하는 것으로 나타났다. 제설기간을 단축시킬 시에는 GDP의 0.034%의 손실을 방지할 수 있는 것으로 나타났다.

5. 결론

본 연구에서는 대설로 인한 도로교통량의 감소가 지역경제에 미치는 영향을 파악하였다. 분석 결과 대설로 인해 발생하는 생산차질액은 연간 2조 4896억 원으로, 대설로 인한 교통량 감소와 이로 인한 산업차질은 막대한 경제적 손실을 가져왔다. 대설시 신속한 대응을 통한 제설기간의 단축은 최대 1조 240억 원의 생산량 증대를 기대할 수 있었다. 즉, 대설에 대비하여 사전예방조치가 마련되어 있다면 상당한 경제적 효과가 발생함을 알 수 있었다.

표 3. 시나리오별 생산차질액 (백만 원)

Table 3. Production loss by scenario (million won)

	제설기간 시나리오					
	3day		2day		1day	
	손실액	감소율	손실액	감소율	손실액	감소율
Seoul	625611	0.097%	454504	0.071%	310132	0.048%
Incheon	141750	0.076%	102980	0.055%	70269	0.038%
Gyeonggi	714351	0.096%	518973	0.070%	354123	0.047%
Daejeon	68144	0.109%	49506	0.079%	33781	0.054%
Chung-buk	82358	0.073%	59833	0.053%	40827	0.036%
Chungg-nam	155607	0.052%	113048	0.038%	77139	0.026%
Gwangju	64744	0.093%	47037	0.068%	32096	0.046%
Jeon-buk	85042	0.085%	61783	0.062%	42158	0.042%
Jeon-nam	95099	0.041%	69089	0.030%	47143	0.020%
Daegu	43794	0.047%	31816	0.034%	21710	0.023%
Gyeong-buk	120403	0.044%	87472	0.032%	59687	0.022%
Busan	43613	0.027%	31685	0.020%	21620	0.013%
Ulsan	60457	0.022%	43922	0.016%	29970	0.011%
Gyeong-nam	79781	0.031%	57961	0.022%	39550	0.015%
Gangwon	70189	0.121%	50992	0.088%	34794	0.060%
Jeju	8652	0.035%	6286	0.025%	4289	0.017%
Total	2,459,596	0.068%	1,786,886	0.050%	1,219,287	0.034%

기후변화로 인해 대설의 빈도와 규모가 증가함에 따라 대설 피해에 대한 대책이 필요한 시점이다. 재난 대책을 위해서는 피해 규모부터 선행되어야 하므로, 본 연구는 대설 피해 정책의 기초 연구가 될 것이다. 그동안 여타 자연재난에 비해 상대적으로 대설에 대한 연구가 부족하고, 기존의 진행된 대설 연구들도 직접피해에만 국한되었다면 본 연구는 대설의 간접피해를 추정했다는 것에 차별성을 지닌다. 이를 위해 교통수요모형과 불능투입산출모형을 결합한 교통경제모형을 구축하였으며, 기상과 교통의 일반동성을 고려하여 대규모의 일일자료를 이용하여 추정하였다.

재난이란 극단적 사건과 취약성으로 구성된 함수이므로, 재난의 피해를 줄이기 위해서는 극단적 사건을 줄이거나 취약성을 개선해야 한다. 자연현상의 일부인 극단적인 사건을 조절하는 것이 현실적으로 어렵다면, 차선의 재난 대비책은 취약성 개선일 것이다. 즉, 기후변화에 따른 대설의 빈도와 강도를 조절하기가 어렵다면, 대설에 대한 취약성 개선을 통해 피해를 최소화해야 한다. 본 연구에서 볼 수 있듯이 빠른 제설 작업을 통한 취약성 개선이 대설 피해를 감소하는데 큰 역할을 했음을 알 수 있다.

본 연구의 한계는 다음과 같다. 불능산출시 교통수요모형에 포함된 대설경보 및 대설주의보 더미변수를 고려하지 않았다 즉, 이상기후의 하나인 5cm 이상, 20cm 이상의 대설발생 분포를 안다면 대설로 인한 피해 규모는 더욱 증가할 것이 분명하지만, 본 연구에서는 적설일 중 대설경보 및 대설주의보의 확률분포를 파악할 수 없어 대규모 대설에 대한 피해는 감안하지 않았다는 한계가 있다. 이밖에도 본 연구의 한계로는 교통산업의 생산차질로 인한 경제적 피해만을 산정하였으나 대설은 교통산업에만 영향을 주는 것이 아니라 관광 등의 서비스산업에도 직접적인 영향을 미친다. 또한 대설과 같은 계절적 영향을 분석할 시 계절단위의 투입산

출표가 존재한다면 좀 더 자세한 결과를 얻을 수 있을 것이다. 또한, 본 연구에서는 기종점에서의 기상상황만을 고려하였으나, 기종점에서의 기상여건 뿐만 아니라 중간경로의 기상여건도 교통수요에 영향을 미친다. 그러나, 이산적인 기상정보를 가지고, 전국 교통망 전체의 연속적인 기상정보를 추산하는 것은 현실적으로 불가능할 것이다. 이렇게 중간경로의 기상여건을 고려하지 못한 점은 본 연구의 한계이다.

- 주1 대설은 강설이 평균치를 크게 벗어나 시간적·공간적으로 집중되어 나타나는 현상을 의미하며, 우리나라의 기상청에서는 신적설이 5cm 이상일 때 대설주의보, 20cm이상일 때 대설경보를 발령한다.
- 주2 스노우(snow, 눈)과 아마겟돈(armageddon, 대혼란)을 결합한 신조어로 2014년 2월 버락 오바마 미대통령이 심각한 대설 사태를 가리키면서 많이 쓰이기 시작했다.
- 주3 투입산출표(또는 산업연관표)는 일정기간(보통 1년) 동안의 산업간 거래관계를 일정한 원칙에 따라 행렬형식으로 기록한 통계표이며, 이러한 투입산출표를 이용하여 산업간 상호의존관계를 수량적으로 분석하는 모형을 투입산출모형(input-output model) 또는 산업연관모형이라 한다.(한국은행, 2014) 투입산출모형은 연구의 목적 및 방법에 따라서 재구성이 가능하기 때문에, 다양한 경제정책의 수립, 정책효과의 측정 등에 활용되고 있다.(한국은행, 2010)
- 주4 TCS는 고속도로 각 영업소의 하이패스를 통과하는 차량을 자동으로 기록하는 장치이다. 우리나라는 약 75% 이상의 화물이 도로를 이용하여 수송(주진형, 2016)하고 있으며, 전국단위에서 지역간 화물운송의 경우 물류의 특성상(신속성, 정시성 등) 대부분 고속도로를 이용하고 있기 때문에 고속도로 교통량을 화물교통량의 대리변수로 이용하였다. 또한, 본 연구의 결과는 고속도로의 현재 상황, 즉, 폭설 대비를 감안한 상태에서의 폭설로 인한 교통수요 감소량을 추정한 것이다.
- 주5 본 교통수요모형의 분석목적이 교통량 감소에 대한 강설량의 평균적인 탄력성을 추정하는 것이므로 극단적인 이상치(대설량)가 없는 잠재 강설 기간(연도)을 선택하였다.
- 주6 교통구역은 교통수요예측을 위해 설정된 단위공간으로, 우리나라에서는 일반적으로는 국가교통DB의 교통구역 체계를 준용하고 있으나, 이들 자료는 일일단위의 교통량을 나타내지 못하기 때문에 지역간 거리, 지역내 면적 등 공간적 위계를 고려하여 재설정하였다.
- 주7 해당 내용은 익명의 심사위원이 지적한 내용이다.

익명의 심사위원에게 감사드립니다.

인용문헌

References

- 권순호·정건희, 2017. "대설피해액 추정을 위한 다중회귀 모형의 적용성 평가", 「대한토목학회논문집」, 37(1): 61-72.
Kwon, Soonho and Chung, Gunhui, 2017. "Estimation of Snow Damages using Multiple Regression Model-The Case of Gangwon Province", *Journal of The Korean Society of Civil Engineers*, 37(1): 61-72.
- 기상청, 2014. 「기후변화에 관한 정부 간 협의체 (IPCC) 제 5 차 평가 종합보고서」, 서울.
KMA, 2014. *The 5th Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)*, Seoul.
- 김근영·주현태·김희재, 2018. "대설 재난의 피해액 결정요인에 관한 연구", 「한국산학기술학회 논문지」, 19(2): 125-136.
Kim, Geunyoung, Joo, Hyuntae and Kim, Heejae, 2018. "The Study for Damage Effect Factors of Heavy Snowfall Disasters : Focused on Heavy Snowfall Disasters during the Period of 2005 to 2014", *Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society*, 19(2): 125-136.
- 김재호, 2013. "일본의 폭설지대 대응전략과 시사점", 「국토」, 380: 104-110.
Kim, Jaeho, 2013. "Strategies and Implications for Japan's Snowfall Zone", *Planning and Policy*, 380: 104-110.
- 김현욱·정종혁·심재관·최병철·김희원·황상희, 2015. "최근 31년간 우리나라 지역별 대설 피해 특성 분석", 한국기상학회 학술대회 논문집, 경주: 교원 드림센터.
Kim, Hyunwook, Jung, Jonghyuk, Sim, Jaegwan, Choi, Byungchul, Kim, Huiwon and Hwang, Sanghui, 2015. "Analysis of the damage characteristics of heavy snow by region in Korea for the last 31 years", *Korean Meteorological Society Conference Proceedings*, 개최지: 개최장소명.
- 노정현, 2013. 「교통계획-통행수요이론과 모형」, 파주: 쉰나남.
Rho, Jeonghyun, 2013. *Transportation Planning-Travel Demand Theory and Models*, Paju: Nanam.
- 박근오·김근영, 2011. "우리나라의 대설 피해 특성과 피해사례", 「한국방재학회」, 11(4): 64-75.
Park, Guenoh and Kim, Guenyoung, 2011. "Damage characteristics and cases of heavy snow in Korea", *The Magazine of the Korean Society of Hazard Mitigation*, 11(4): 64-75.
- 백승걸·정소영·이태경·원제무, 2010. "TCS 자료를 이용한 강설과 고속도로 통행특성 관계 연구", 「한국 ITS 학회 논문지」, 9(4): 68-79.
Baek, Seungkirl, Jeong, Soyoung, Lee, Teakyung and Won, Jai-Mu, 2010. "Analysis of Snowing Impacts on Freeway Trip Characteristics Using TCS Data", *The Journal of Korean Institute of Intelligent Transport Systems*, 9(4): 68-79.
- 설재훈, 2010. "[Theme 1] 교통방재 및 취약성 연구의 필요성과 과제", 「월간교통」, 12월호: 6-12.
Seol, Jaehoon, 2010. "[Theme 1] Necessity and Challenges of Traffic Disaster and Vulnerability Research", *Monthly KOTI Magazine on Transport*, (2010, 12): 6-12.
- 손영태·이상화·임지희, 2013. "강설에 따른 고속도로 용량변화에 관한 연구". 「대한교통학회지」, 31(6): 3-11.
Son, Youngtae, Lee, Sanghwa and Im, Jihee, 2013. "A Study on Highway Capacity Variation According to Snowfall Intensity", *Journal of Korean Society of Transportation*, 31(6): 3-11.
- 손철·김건후·김기병, 2014. "폭설 피해지역 유입교통량 변화에 대한 연구 -2011년 영동지역 폭설사례를 중심으로", 「기후연구」, 9(4): 331-343.
Sohn, Chul, Kim, Geonhu and Kim, Kibyoung, 2014. "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", *Journal of climate research*, 9(4): 331-343.
12. 안소라, 이준우, 김성준, 2015. "RCP 기후변화 시나리오에 따른 미래 강설량 예측 및 폭설 취약지역 평가", 「대한토목학회논문집」, 35(3): 545-556.
Ahn, Sora, Lee, Junwoo and Kim, Seongjoon. 2015. "Projection of Future Snowfall and Assessment of Heavy Snowfall Vulnerable Area Using RCP Climate Change Scenarios", *Journal of the Korean Society of Civil Engineers*, 35(3): 545-556.
13. 윤대식, 2001. 「교통수요분석: 이론과 모형」, 서울: 박영사.
Yoon, Daesik, 2001. *Traffic Demand Analysis: Theory and Model*, Seoul: Pakyoungsa.
14. 기상청, 2017. 「2016 재해연보」, 서울.
KMA, 2017. *Disaster Yearbook 2016*, Seoul.
15. 기상청, 2018. 「2017년 이상기후보고서」, 서울.
KMA, 2018. *2017 Abnormal weather report*, Seoul.
16. 임용택·백승걸·엄진기·김현명·이준·박진경, 2013. 「교통계획」, 서울: 청문각.
Im, Yongtaek, Baek, Seunggul, Um, Jinki, Kim, Hyungmyung, Lee, Jun and Park, Jungyung, 2013. *Transportation Planning*, Seoul: Chungmungak.
17. 정준호·이승호, 2014. "폭설에 의한 경제적인 직접 피해액의 추정", 「기후연구」, 9(2): 125-139.
Jeong, Junho and Lee, Seungho, 2014. "Estimating the Direct Economic Damages from Heavy Snowfall in Korea", *Journal of climate research*, 9(2): 125-139.
18. 한국은행, 2014. 「산업연관분석 해설」, 서울.
Bank of Korea, 2014, *Input-Output Analysis*, Seoul.
19. 한우석, 2011. :폭설 현황과 대응방향», 「국토」, 355: 39-47.
Han, Wooseok, 2011. "Trend and Direction of Heavy Snowfall", 「Planning and Policy」, 355: 39-47.
20. 현대경제연구원, 2014. 「눈과 경제-적설의 경제적 피해와 시사점」, 서울.
HRI, 2014. *Snow and Economy- Economic Damage and Implications of Snowfall*, Seoul.
21. Kanafani, Adib, 1983. *Transportation demand analysis*, OH: McGraw-Hill.
- 22.. Datla, 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.
23. Gordon, P., Richardson, H., and Davis, B., 1998. "Transport -related impacts of the northridge earthquake", *Journal of Transportation and Statistics*, 1: 21-36.
24. Haines, Yacov Y. and Pu Jiang, 2001. "Leontief-based model of risk in complex interconnected infrastructures", *Journal of Infrastructure systems*, 7(1): 1-12.
25. Hanbali, R. M. and Kuenmel, D. A., 1993. "Traffic volume reductions due to winter storm conditions, Transportation Research Record", *Journal of the Transportation Research Board*, 1387: 159-164.
26. Hassan, Y. and Derek J. Barker, 1999. "The impact of unseasonable or extreme weather on traffic activity within Lothian region, Scotland", *Journal of Transport Geography*, 7(3): 209-213.
27. IPCC, 2015. *Climate Change 2013: The Physical Science Basis*, New York.: Cambridge University Press.
28. Knapp, K. K. and Smithson, L. D., 2000. "Winter storm event volume impact analysis using multiplesource archived monitoring data, Transportation Research Record", *Journal of the Transportation Research Board*, 1700: 10-16.
29. 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.
30. Tsuchiya, Satoshi, Tatano, Hirokazu and Okada,
 Norio, 2007. "Economic loss assessment due to
 railroad and highway disruptions", *Economic
 Systems Research*, 19(2): 147-162.
- | | |
|----------------------------|------------|
| Reviewed(1 st) | 2018-05-25 |
| Date Revised | 2018-09-03 |
| Reviewed(2 nd) | 2018-09-19 |
| Date Accepted | 2018-09-19 |
| Final Received | 2018-11-06 |