

도시의 설해취약지역 선정 및 위험도 평가에 관한 연구 - 부산광역시 지형적 특성을 중심으로 -

구유성* · 이성호** · 정주철***

Koo, Yoo Seung*, Lee, Sung Ho**, Jung, Juchul***

Selecting and Assessing Vulnerable Zones of Snow Damage in Urban Areas - the case of City of Busan

ABSTRACT

Recent huge losses of both life and property have occurred by unexpected natural disasters. We studied snow damages, an important natural disaster issue because it happens more frequently in recent years. This study tries to select vulnerable areas of snowfall in advance and then establish climate change adaptation policy for minimizing unexpected snowfall damage. Busan, where is our study area, has hilly in downtown areas so that topography characteristics of the roads such as slope, elevation and aspect are vulnerable to snowfall. The sudden snowfall in Busan causes traffic jam and causes some schools in hilly to close some schools. At this moment, the adaptation policy has to be established for infrastructure (such as roads) in advance, because prediction of anomaly climate due to global warming is so difficult beside the damage of natural disaster is huge. Therefore, the purpose of this study is contribute to selecting and assessing vulnerable zones of snow damage focusing topography characteristics of the roads and then evaluating the degree of risk of vulnerable zones.

Key words : Snow Damage, GIS Overlay Analysis, Risk Assessment

초록

최근 지구는 이상기후를 원인으로 한 자연재난 발생에 의해 경제적 손실 및 인명 피해가 빈번하게 발생하고 있다. 본 연구의 목적은 자연재난의 하나인 설해 적용에 관한 것으로 도로가 위치한 지역의 지형적 특성을 중심으로 설해취약지역을 선정하고 그 위험정도를 제시하는 것이다. 연구 지역인 부산광역시의 경우 도심 내 구릉성 산지가 많이 분포하고 있어 도로의 경사가 급하고 많은 산복도로가 형성되어 있어 폭설에 취약한 구조로 되어 있다. 최근에는 폭설이라 할 수 없는 적은 적설량에도 도로교통이 마비되고 학교가 휴교하는 등 큰 혼란이 발생하였다. 지구온난화에 의한 이상기후는 예측이 어렵고 그 피해는 매우 큼으로 관련 사회기반시설에 대한 적응정책이 마련되어야 한다. 따라서 본 연구는 연구지역의 도로가 위치한 지형적 특성들을 중심으로 설해취약지역을 선정하고 행정동 단위 위험도 평가를 통한 위험정도를 나타냄으로써 설해 적응정책수립 시 기초자료로서 활용될 수 있도록 하였다.

검색어 : 설해, GIS 중첩분석, 위험도 분석

* 부산대학교 박사과정 (ysk2018@gmail.com)

** 정희원 · 부산대학교 교수 (snhlee@pusan.ac.kr)

*** 정희원 · 교신저자 · 부산대학교 교수 (**Corresponding Author** · Pusan National University Professor · jchung@pusan.ac.kr)

Received April 18 2012, Revised July 15 2012, Accepted February 13 2013

1. 서론

지구온난화를 그 원인으로 하고 있는 기후변화는 단순 온도상승 뿐만 아니라 해수면 상승, 태풍, 국지적 집중호우, 가뭄, 홍수 그리고 폭설 등 다양하게 존재하며, 그 사상들의 강도와 빈도가 점차 증가하고 있다. 또한 IPCC(Intergovernmental Panel on Climate Change : 기후변화에 관한 정부간 협의체)에서 2007년도에 발간한 「제4차 기후변화 평가 보고서」에 따르면 온실가스 배출감축과 같은 노력으로 기후변화 현상을 완화시키는 것만큼이나 기후변화에 적응하는 것이 중요하다고 언급하고 있다. 그 이유는 온실가스 배출저감 노력이 성공하여도 이미 배출된 것으로 인해 기후변화는 계속 발생할 것이며 지속적으로 기후변화를 경험해야 한다는 사실을 말해주고 있다. 이러한 관점에서 기후변화 적응(adaptation)은 기후변화 완화(mitigation)와 함께 기후변화 대응에 있어서 필수적인 요소라 할 것이다. 때문에 기후변화로 인해 발생할 수 있는 위기상황에 대비하기 위해서는 지역별 기후변화 적응역량을 강화해야 한다.

특히, 사회기반시설은 기후변화에 적응할 수 있는 도구로서 그 적응역량을 강화하는 것은 기후변화에 대응한 좋은 접근방법이 될 수 있다. 인구가 집중되어 있는 도시는 사회기반시설의 역할이 매우 중요하며 그 기능이 마비될 경우 큰 혼란을 초래하게 된다.

연구지역인 부산광역시는 도심 내 구릉성 산지가 많이 분포하고 있는 이유로 도로의 지형적 특성이 폭설에 취약한 구조로 형성되어 있다. 실 사례로 2005년 3월 발생한 폭설로 눈길 미끄러짐에 의한 교통사고가 잇따라 발생하여 일반 시민, 외국인 관광객 그리고 소방대원 등 6명이 부상을 당하였다. 2010년 3월 10일에는 폭설이라 할 수도 없는 약 5cm의 눈 때문에 고지대를 중심으로 출근길 대란이 일어나고 초·중등학교 및 대학교까지 임시 휴교령이 내려졌다. 부산시와 경찰은 동구 안창마을, 감천고개, 물만골 마을, 서대신 동 꽃마을 입구 등 시내 고지대와 산복도로는 물론 부산항 4부두 앞 왕복 8차선 도를 비롯해 시내 37곳에서 차량운행을 통제했다. 2011년 2월 14일 부산시소방본부에 따르면 눈길 교통사고 8건이 오전 6시 30분경 집중 발생하여 9명을 긴급 이송하였다. 또한 지난 20년 동안 부산광역시의 적설량 추이를 살펴보면 그 빈도와 양이 점차 증가하고 있다. 이는 부산광역시가 더 이상 폭설의 안전지대가 될 수 없음을 의미하고 동시에 설해피해저감 활동 및 적응능력 향상을 위한 대응방안의 필요성이 대두되고 있음을 의미한다.

본 연구는 극한기후 중 폭설에 의한 도시의 설해취약지역을 선정하기 위해 사회기반시설중 주요 피해시설인 도로, 특히 고지대에 위치한 국지도로 및 산복도로의 지형적 특성을 중심으로 연구를 진행하였다. 교통사고 발생 빈도가 높은 지역 도로의 지형적 특성을 통해 예상위험지역을 추정하고 도출된 지역들을 대상으로 위험도 평가를 실시하였다. 설해취약지역들의 위험도 지수에 따라 우선

조치되어야 할 위험지역을 제안하고 사회기반시설 적응능력강화 정책수립 시 그 기초자료로서 활용되기를 기대한다.

2. 기존연구 고찰 및 방법론

2.1 기존연구 고찰

기후변화에 대한 사회기반시설의 적응역량 강화에 관한 기존연구들은 기후변화 적응대책 수립을 위한 가이드라인 개발에 관한 연구(국립환경과학원, 2008)가 진행된 바 있으며, 기후변화에 따라 심화될 것으로 예상되는 주요 사상(events)별 사회기반시설의 취약성 및 대응방안 연구(한국환경정책평가연구원, 명수정 외, 2009) 그리고 우리나라의 지역별 기후변화 취약성을 평가할 수 있는 지표개발과 그 활용방안에 대한 연구(유기영과 김인애, 2008) 등이 있다. 또한 홍수재해를 중심으로 특정 지역(서울)의 지역안전도를 평가한 연구(이석민, 2006)가 있으며, 이상기후에 대비하여 GIS 기반의 선택적 홍수방어를 위한 의사결정시스템 개발을 진행한 연구(김병식, 장대원, 2009) 등이 진행된 바 있다.

본 연구의 주요관심 기후사상인 폭설에 대한 기존 연구들은 주로 농촌지역의 폭설 예방저감을 위한 농가건축물에 대한 연구(이석진과 이종원, 2005; 김진영, 2001) 등이 있으며, 폭설에 대비하기 위하여 광역도로의 제설체제 구축방안 및 제설 개선방향(심기오, 2003) 제안하기도 하였다. 국립방재연구소(2003)는 제설방법의 매뉴얼 작성, 제설제 선정 및 사용방법, 제설장비 구비, 교통 통제기준 정립 그리고 도상 모의훈련 및 제설체제 구축에 대하여 제시하였다. 이상의 연구들은 주로 기후변화에 대하여 전국을 대상으로 한 사회기반시설 전반에 걸친 취약성 평가 또는 적응대책 수립을 위한 가이드라인 및 취약성 지표 개발을 실시하였다. 이는 특정 지역을 대상으로 분석 하였다 하더라도 기후변화 개별사상에 대하여 특정 사회기반시설의 취약성 분석을 한 사례는 아직까지 진행된 바가 없다. 또한 농촌지역의 설해 예방저감에 관한 연구들 역시 적응의 개념보다는 사후처리에 가까운 연구들이 대다수이다.

2.2 설해취약지역 선정

설해취약지역 선정을 위해 실제 발생한 설해 사례를 조사한 결과 고지대에 위치한 국지도로(이면도로) 또는 산복도로에서 주로 발생하였다. 또한 도로의 노면 결빙에 의한 미끄러짐에 의한 교통사고와 낙상이 대부분이었다. 부산광역시는 도심에 위치한 구릉성 산지들로 인해 타 도시와 비교하여 도로의 경사가 크고 고지대 산복도로가 형성되어 있으며 일조량이 적은 음지에도 많은 도로가 위치하고 있는 것이 특징이다. 따라서 설해 발생지역에 위치한 도로의 지형적 특성들인 경사도, 향, 표고 등을 GIS 중첩분석을 통하여 예상위험지역을 우선 선정하였다.

중첩(overlay)의 개념은 하나의 커버리지 위에 다른 커버리지를 올려놓고 두 커버리지에 나타난 형상들 간의 관계를 분석하는 것이다. 중첩의 기능은 크게 세 가지로 나누어 볼 수 있다. 첫째, 중첩을 통해 형상들 간의 공간관계를 파악할 수 있다. 둘째, 다양한 데이터베이스로부터 분석적인 정보를 추출할 수 있다. 셋째, 새로운 가설이나 이론 및 시뮬레이션을 통해 만일 어떤 사건이 일어난다면 그 결과가 어떻게 될 것인가에 대한 정보를 추출하는 모델링 작업을 수행할 수 있다. 본 연구에서는 중첩의 기능 중 세 번째 기능을 활용한 것으로 폭설에 취약하고 매우 민감한 지역을 선정하기 위한 민감도 모델링을 설정하고 중첩기능을 활용하여 분석한다.

2.3 취약지역 위험도 평가

설해취약지역에 대한 위험도 평가를 위해 위험요인을 대변하는 평가인자를 선정하고 인자별 특성에 따라 (+, -) 기호를 부여한다. 이는 지역안전도개념의 위험성 지수를 변용한 것으로 평가인자들의 위험도와 저감성을 나타낸다. 지역안전도 개념은 국내 소방방재청(2005), 자연재해대책법등에서 이용되고 있으며, 이창희 외(2006)는 안전도와 위험도는 서로 연관되어 있으며, 위험도가 높으면 안전도가 낮아지고, 위험도가 낮으면 안전도가 높아짐으로 지역 안전도 평가를 위해 지역위험도 평가가 이용될 수 있다고 하였다. 또한 지역안전도평가란 위험 항목별 요인들을 조합한 위험도에 저감성을 고려한 것이라고 정의하였다.

평가인자별 가중치 산정은 계층분석기법(AHP)을 사용하였다. AHP는 다수 대안에 대한 다면적 평가기준을 통한 의사결정지원 방법의 하나로, Thomas L. Saaty교수가 1980년에 발표한 논문 “The Analytic Hierarchy Process”에서 처음 제창되었다. 이 기법은 세계 각국의 정부기관과 기업에서 유용하게 활용되고 있으며, 각 대안의 중요도를 산출하는 방법으로서 그 측정 척도가 다양한 다기준(Multiple-criteria)의 의사결정문제를 계층화하여 해결하는데 적합하다. 본 연구에서는 평가인자별 가중치를 산정하기 위한 수단으로 사용되었다.

3. 설해위험지역 : 국지도로의 지형적 특성에 대한 중첩분석

연구지역인 부산광역시에는 고도 500m 내외의 구릉성 산지가 독립적으로 분포하고 여기서 뺀어 나온 산각은 완만한 경사로서 해안에 몰입하고 있는 지형적 특성을 가지고 있다. 때문에 도심 속 주택 및 학교 그리고 도로 등이 자연적으로 경사지 위에 위치하게 되었고 이는 기후변화에 의해 심화되고 있는 이상기후들 중 폭설과 폭설로 인한 설해에 취약할 수밖에 없다.

3.1 경사도 분석

동절기의 낮은 기온에 폭설이 발생한다면 우리는 우선적으로

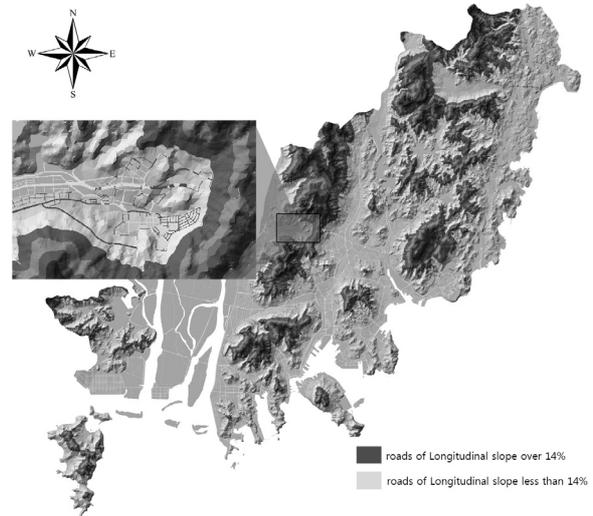


Fig. 1. Spatial analysis of the roads(slope)

도로결빙위험에 대하여 우려할 것이다. 더욱이 노면이 얼어 있는 상태에 경사도가 크다면 그 위험성은 배가 될 것이다. 하지만 도로의 노면결빙과 ‘경사도’와의 상관관계에 관한 연구는 아쉽게도 찾아 볼 수 없었다. 때문에 “도로의 신설 또는 개량하거나 자동차 전용도로를 지정하는 경우 그 도로의 구조 및 시설에 적용되는 최소한의 기준을 규정함을 목적”으로 하고 있는 「도로의 구조시설 기준에 관한 규칙」의 종단경사 비율을 설해 시 위험지역 선정에 있어 경사도 위험기준으로 적용하였다. 고지대의 국지도로와 산복도로를 위한 기준으로 「도로의 구조시설 기준에 관한 규칙」에서는 국지도로(산지)의 경우 설계속도 60(km/H), 최대 종단경사를 14%를 제한하고 있다.

경사도 분석 시 소형차도의 국지도로(산지)를 기준으로 한 종단경사 비율 14%를 위험기준으로 사용하였다. 그 이유는 부산광역시의 도심부에 위치한 구릉성 산지로 연결되는 대부분의 도로들은 국지도로로 연결되어 있고 실제 폭설로 인한 설해발생 피해지역이 고지대에 위치한 국지도로 및 산복도로이기 때문이다.

Fig. 1은 종단경사 14%를 기준으로 연구지역의 도로가 위치한 면(Raster Data)을 Reclassify(14%초과:1, 14%이하:0)하고, Raster Calculator의 “*” 곱하기 연산자를 사용하여 부산광역시 도로 전체의 래스터 데이터와 분석한 결과이다. 그림 1에서 빨간색으로 표현된 부분이 도로가 위치한 지역의 평균경사도가 14%를 초과한 부분이며, 그 분포를 살펴보면 부산의 도심에 산재하고 있는 구릉성 산지 주변을 중심으로 분포하고 있음을 확인 할 수 있다.

3.2 향 및 표고 분석

노면이 결빙되는 현상에 영향을 미치는 요소들로는 온도, 습도,

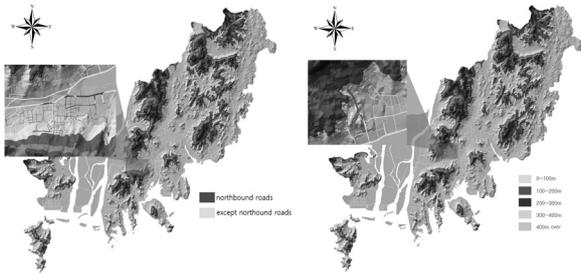


Fig. 2. spacial analysis of the roads(aspect, elevation)

바람, 날씨 그리고 도로의 재질 등이 외에도 많은 변수들이 존재하고 있다. 설해취약지역을 선정함에 있어 그 요소들과 밀접한 관련이 있는 ‘향’과 ‘표고’를 분석한 결과 Fig. 2와 같은 결과를 얻었다.

도로가 위치한 지형과 방향에 따라 음지의 환경이 형성되며, 이는 일조에 의해 열에너지를 얻는 속도보다 대기 중으로 열에너지를 빼앗기는 속도가 빠르기 때문에 눈이 왔을 때 노면결빙이 발생할 확률이 높은 것이 사실이다. 연구지역의 도로의 향을 분석하기 위해서 경사도와 마찬가지로 Reclassify와 Raster calculator를 이용하였다. 향의 위험기준으로는 사방위중 북향과 그 나머지를 제외하는 방법으로 분석하였다. Fig. 2(좌)에서 도로의 향 분석결과를 살펴보면, 경사도와 마찬가지로 구릉성 산지를 중심으로 도로의 높이가 급격히 변화하고 향에 따른 음지가 형성되어 있음을 확인할 수 있다.

표고의 경우, 도로의 높이변화에 따라 온도가 달라지는데, 기온 감률(air temperature lapse rate)은 대기권 내에서 지구로부터 멀어질수록 기온이 떨어지는 비율을 말하며 대류권 안에서는 평균 100m당 0.5 ~ 0.6°C 낮아진다. 한편, 지형이 높은 곳에 존재한다고 해서 꼭 노면결빙이 발생하는 것은 아니다. 동절기에 지형이 낮은 장소에서는 냉기 온도가 정체됨으로 결빙이 빠르게 일어날 수도 있다. 하여 동절기 혹한 또는 폭설 발생 시 도로의 표고에 따라 위험기준을 산정하는 것은 무리가 따른다. 하지만 부산광역시의 지형적 특성으로서 표고를 살펴보면 100m 미만의 구성비가 43.9%, 100~200m 사이의 구성비가 16.2%, 그리고 200m 초과인 구성비가 39.9%를 차지하고 있다. GIS를 활용하여 확인 한 결과, 도시의 주간선도로에서 각 지역의 연결되는 보조간선도로 및 국지 도로가 위치한 표고는 100~200m 사이에 대부분 포함되는 것으로 확인하였다. 동절기 혹한 및 폭설로 인한 설해취약지역 분석을 위하여 본 연구에서는 표고의 위험기준으로 국지도로를 대부분 포함하고 있는 표고범위(100~200m)를 그 기준으로 설정하여 분석하였다. Fig. 2(우).

3.3 설해취약지역 선정

앞서 도로가 위치한 지역의 지형적 특성들 경사, 향 그리고



Fig. 3. overlay analysis of the roads(slope, aspect, elevation)

표고에 대하여 설해 위험기준을 설정하고 GIS의 Spatial analyst 툴을 이용하여 분석하였다. Fig. 3은 앞서 지형적 특성(경사, 향, 표고)들의 분석 결과 값을 입력 데이터로 하여 중첩분석을 진행한 결과이다.

중첩분석 결과 설해취약지역으로 선정된 곳은 총 41개 지역이며, 주로 구릉성 산지 주변을 중심으로 분포하고 있음 확인 할 수 있다. 또한 선정된 지역들의 토지이용 현황을 인터넷 지도 사이트(네이버 지도)를 이용하여 조사한 결과 대부분이 주택과 아파트 그리고 초중고등학교 및 대학교 등이 위치하고 있었다. 이는 선정된 지역들이 특정 시간대 즉, 출퇴근 및 등교 시간에 인구가동이 높은 지역임을 의미한다. Table 1(부록참조)는 설해취약지역으로 선정된 41개 지역의 위치와 학교들을 정리한 것이다.

선정된 취약지역들은 대부분 구릉성 산지에 위치한 100m 이상의 고지대로 동절기 폭설이 발생할 경우 직장인과 학생들의 이동에 잠재적 위험을 가지고 있음이 분명하다. 연구지역인 부산광역시는 지형적 특성으로 인해 주택지역 및 학교가 자연적으로 경사지 위에 위치하게 되었고, 이는 기후변화에 따른 이상기후, 즉 폭설로 인한 설해에 취약할 수밖에 없다.

4. 취약지역별 위험도 평가

앞서 고지대에 위치한 도로지역의 지형적 특성들을 중첩분석 하여 설해에 취약할 것으로 예상되는 지역들을 선정하였다. 본 장에서는 선정된 지역들이 속해 있는 행정구역(동 단위)별로 위험도 평가를 실시하고 그 정도에 따라 설해대비 우선적으로 조치되어야 할 지역들을 제시하고자 한다.

Table 1. The results of the overlay analysis

No.	gu	dong	facilities inducing population concentration(School-based)
1	Buk-gu	Mandeok 1-dong	Elementary school(3 places), Middle school(1 places), High school(1 place)
2	Buk-gu	Mandeok 3-dong	Elementary school(2 places), Middle school(1 places)
3	Buk-gu	Deokcheon 3-dong	Elementary school(1 places)
4	Buk-gu	Gupo 1-dong	Elementary school(1 places), Middle school(1 places), High school(1 places), University(1 places)
5	Yeonje-gu	Geoje 2-dong	Elementary school(1 places), Middle school(1 places)
6	Dongnae-gu	Sajik 2-dong	Elementary school(2 places), Middle school(1 places), High school(3 places)
7	Dongnae-gu	Oncheon 3-dong	Elementary school(3 places), Middle school(2 places)
8	Geumjeong-gu	Bugok 4-dong	Middle school(1 places), High school(1 place)
9	Geumjeong-gu	Bugok 3-dong	Elementary school(2 places), Middle school(2 places), High school(3 places)
10	Geumjeong-gu	Geumsa-dong	Elementary school(1 places), Middle school(1 places)
11	Haeundae-gu	Bansong 2-dong	Elementary school(2 places), Middle school(2 places)
12	Haeundae-gu	Jwa 2-dong	Elementary school(3 places), Middle school(2 places), High school(1 places)
13	Haeundae-gu	Jwa 3-dong	Elementary school(2 places), Middle school(2 places), High school(1 places)
14	Suyeong-gu	Millak-dong	Elementary school(2 places)
15	Yeonje-gu	Yeonsan 8-dong	Elementary school(3 places), Middle school(1 places), High school(2 places), University(1 places)
16	Jin-gu	Yangjeong 2-dong	Elementary school(2 places), Middle school(1 places), High school(2 places), University(2 places)
17	Yeonje-gu	Yeonsan 3-dong	Elementary school(1 places)
18	Jin-gu	Gaya 3-dong	Elementary school(2 places), Middle school(1 places), High school(1 places), University(1 places)
19	Sasang-gu	Jurye 3-dong	Elementary school(1 places), Middle school(2 places), University(2 places)
20	Sasang-gu	Hakjang-dong	Elementary school(2 places), Middle School(1 places), High School(1 places)
21	Sasang-gu	Eomgung-dong	Elementary school(3 places), Middle school(1 places)
22	Saha-gu	Goejeong 4-dong	Elementary school(1 places), Middle school(1 places)
23	Saha-gu	Dadae 2-dong	Elementary school(2 places), Middle school(2 places)
24	Saha-gu	Jangnim 2-dong	Elementary school(2 places), Middle school(1 places)
25	Saha-gu	Dadae 1-dong	Elementary school(4 places), Middle school(2 places), High school(1 places)
26	Saha-gu	Jangnim 1-dong	Elementary school(1 places), High school(1 places)
27	Seo-gu	Nambumin 2-dong	Middle school(1 places)
28	Saha-gu	Gamcheon 1-dong	Elementary school(3 places), Middle school(3 places), High school(3 places)
29	Seo-gu	Nambumin 1-dong	Elementary school(1 places)
30	Seo-gu	Ami-dong	Middle school(1 places)
31	Seo-gu	Seodaesin 3-dong	Elementary school(1 places) High school(2 places)
32	Dong-gu	Choryang 2-dong	
33	Yeongdo-gu	Dongsam 1-dong	Elementary school(4 places), Middle school(4 places), High school(3 places), University(1 places)
34	Yeongdo-gu	Cheonghak 2-dong	Elementary school(1 places)
35	Yeongdo-gu	Bongnae 2-dong	Elementary school(1 places)
36	Yeongdo-gu	Dongsam 2-dong	Elementary school(1 places), High school(1 places)
37	Nam-gu	Yongdang-dong	Elementary school(1 places), Middle school(1 places), High school(1 places), University(1 places)
38	Nam-gu	Munhyeon 3-dong	High school(1 places)
39	Jin-gu	Danggam 4-dong	Elementary school(2 places), High School(1 places)
40	Sasang-gu	Gwaebeop-dong	Elementary school(2 places), Middle school(1 places), University(1 places)
41	Sasang-gu	Jurye 2-dong	Elementary school(2 places), Middle school(1 places), High School(1 places), University(2 places)

Table 2. Factors affecting snowfall

factors		description of factors
+	natural	Different degree of risk, depending on topographical characteristics of roads located
	past damage	Existing snow damage the affected areas are more likely recurrence
	social	Densely populated areas have potential to cause the damage such as paralyzed traffic and car accidents. Snow damage is expected to be greater in the area where is located the facility causing floating population
-	facilities	Degree of risk is different depending on the type of road and degree of aging Amount of snow removal material stocked, location and retaining equipments is important
	administration	Snow damage can be reduced through regional mitigation efforts, preparedness and recovery measures.

- 1) Pusan Disaster and Safety Countermeasures Headquarters. (2005, 2010). "Natural Disaster Relief in Winter"
- 2) Seoul Development Institute, 2006. "Development of the Regional Safety Assessment Model in Seoul."

Table 3. Assessment factors of vulnerable areas

factors		description
natural	slope	average slope(%)
	aspect	average of north facet(%)
	elevation	average elevation(m)
social	pop. density	people/km ²
	facilities	the number of person
adaptation	snowbox for removal	the number of snowbox(EA)
	gov. employees	the number of gov. employees

4.1 평가인자 선정 및 자료수집

4.1.1 설해위험요인

선정된 설해취약지역별 위험도 평가를 하기 위해서는 폭설 발생 시 설해에 영향을 미치는 요인들을 선정하고, 이들을 대표할 수 있는 인자를 도출하여야 한다. Table 2은 부산광역시의 폭설 피해사례 조사결과와 관련 문헌을 토대로 위험요인들을 크게 위험성(+)과 저감성(-)으로 구분하고 재정리한 것이다.

설해취약지역의 위험도를 평가하기 위한 요인별 인자는 설해피해사례 조사 자료를 토대로 인자선정 원칙과 자료의 구득용이성을 검토하여, Table 3와 같이 선정하였다. Table 2의 시설적 요인에서 도로의 형태 및 노후화 정도에 대한 데이터는 자료의 구득이 어려워 제외하였고, 행정적인 요인은 부산광역시가 2005년도 폭설 이후

Table 4. Description of assessment factors

factors	description of data collection
slope	Calculate average slope (GIS, Spatial analysis)
aspect	Calculate the ratio of eh northbound (GIS, Spatial analysis)
elevation	Calculate the average elevation (GIS, Spatial analysis)
pop. density	Refer to "2009 Statistical Yearbook"
facilities	examine the total number of students in each schools
snowbox	Refer to "2010 Busan the winter natural disasters comprehensive measures"
gov. employees	Investigate the number of civil servants by 213 administration dong, Busan

시청의 주도로 각 구별로 설해대책마련이 진행되었으나 아직까지 그 수준이 미비하여 본 연구에서는 해당 동의 공무원 수를 적용요인의 하나로 대체하였다.

4.1.2 자료수집

위험도평가의 공간적 단위는 앞서 선정한 설해취약지역들이 포함되어 있는 지역의 동 경계를 기준으로 평가한다. 선정된 지역들은 도로가 위치한 면의 자연적 특성(경사도, 향, 표고)에 의한 분석이 있다면, 본 장에서는 자연적 요인뿐만 아니라 사회적 요인 그리고 적용 요인 등을 위험도평가에 반영하여 평가하였다. 따라서 본 연구는 선정된 설해취약지역들이 위치한 동(행정동)을 공간 단위로 위험도를 평가하고 위험정도에 따라 우선적으로 조치되어야 할 지역들을 제시한다. Table 4는 평가인자별 자료수집 방법을 정리한 것이다.

4.1.3 표준화

각 평가인자들은 그 단위나 중요도가 다르기 때문에 단순히 합산하여 비교할 수 없다. 따라서 인자 값들의 크기와 단위에 따른 편차 문제를 해소하기 위해서는 표준화 과정이 필요하다. 본 연구에서는 데이터의 표준화를 위해 편차치(T score)를 사용하였다. 편차치(偏差値)는 표준값(Z-score)에서 환산된 값으로 그 내용은 아래 수식 (1)과 같다.

$$T_i = \frac{10(x_i - \mu)}{\sigma} + 50 \quad (1)$$

여기서,

$$\mu = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i, \quad \sigma = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i - \mu)^2} \quad \text{이다.}$$

(N: 모집단의 크기, x_i : 개개인의 값, μ : 모평균, σ : 모표준편차)

Table 5. Standardization

Id.	dong	natural factor						social factor				adaptation factor			
		slope		aspect		elevation		pop. density		facilities		snowbox		gov.employees	
		Z	T	Z	T	Z	T	Z	T	Z	T	Z	T	Z	T
1	Mandeok 1-dong	0.64	56.43	0.84	58.36	1.53	65.27	-0.25	47.50	-0.25	47.49	0.16	51.56	-0.32	46.84
2	Mandeok 3-dong	2.02	70.18	1.53	65.27	3.14	81.36	0.17	51.74	-0.39	46.12	0.67	56.71	-0.68	43.24
3	Deokcheon 3-dong	1.51	65.09	1.89	68.90	0.91	59.08	0.42	54.24	-0.80	41.95	-0.80	42.00	0.40	54.04
4	Gupo 1-dong	-0.64	43.61	1.07	60.65	-0.54	44.59	0.11	51.10	-0.53	44.74	-0.29	47.15	-1.04	39.63
5	Geoje 2-dong	-0.40	45.97	0.32	53.23	-0.47	45.29	-0.57	44.33	-0.59	44.10	0.23	52.30	0.40	54.04
6	Sajik 2-dong	0.35	53.47	-1.09	39.13	0.80	58.04	0.34	53.41	0.27	52.65	0.08	50.83	0.04	50.44
7	Oncheon 3-dong	-0.87	41.29	-1.16	38.37	-0.29	47.07	1.33	63.26	-0.12	48.83	-0.29	47.15	1.48	64.85
8	Bugok 4-dong	-1.16	38.43	0.05	50.45	-1.07	39.33	1.92	69.16	-0.57	44.25	-0.95	40.53	-1.04	39.63
9	Bugok 3-dong	0.18	51.84	-0.45	45.51	0.15	51.53	-1.52	34.81	0.26	52.64	-0.87	41.26	-0.32	46.84
10	Geumsa-dong	0.18	51.84	-0.45	45.51	0.15	51.53	-1.56	34.45	-0.78	42.25	-0.95	40.53	1.84	68.45
11	Bansong 2-dong	0.53	55.26	-0.90	40.95	-0.10	49.05	-0.77	42.33	-0.37	46.31	0.45	54.50	2.20	72.05
12	Jwa 2-dong	-0.79	42.10	-0.74	42.62	0.89	58.93	-0.90	40.99	0.31	53.11	1.99	69.95	0.76	57.64
13	Jwa 3-dong	-0.59	44.12	-0.35	46.54	-0.51	44.93	1.91	69.12	0.02	50.17	-0.58	44.21	0.04	50.44
14	Millak-dong	-2.08	29.19	-1.32	36.77	-1.21	37.88	0.33	53.27	-0.67	43.28	-0.14	48.62	0.40	54.04
15	Yeonsan 8-dong	-1.85	31.52	-1.05	39.50	-1.47	35.31	0.68	56.76	0.23	52.27	-0.58	44.21	-0.68	43.24
16	Yangjeong 2-dong	-1.80	31.99	1.11	61.11	-0.98	40.24	0.72	57.21	-0.13	48.72	-0.65	43.47	0.04	50.44
17	Yeonsan 3-dong	-1.11	38.87	2.58	75.83	-0.67	43.28	1.36	63.61	-0.80	41.97	-0.21	47.88	-0.68	43.24
18	Gaya 3-dong	1.69	66.93	0.67	56.69	1.47	64.72	-0.74	42.60	2.44	74.44	-0.36	46.41	-0.68	43.24
19	Jurye 3-dong	0.21	52.13	0.95	59.54	0.99	59.88	-0.34	46.56	-0.42	45.82	3.10	80.98	-0.68	43.24
20	Hakjang-dong	0.48	54.83	2.14	71.43	-0.12	48.77	-1.35	36.54	-0.29	47.10	1.70	67.00	1.12	61.24
21	Eomgung-dong	0.36	53.63	0.38	53.83	0.60	55.98	-1.41	35.86	-0.22	47.79	1.85	68.47	0.04	50.44
22	Goejeong 4-dong	0.94	59.41	0.04	50.41	0.99	59.86	1.13	61.27	-0.67	43.26	-0.58	44.21	-1.04	39.63
23	Dadae 2-dong	0.10	51.04	-0.36	46.36	-0.45	45.46	-0.05	49.51	-0.29	47.12	-0.06	49.35	1.48	64.85
24	Jangnim 2-dong	-0.07	49.28	-1.12	38.81	-1.01	39.91	0.20	52.02	-0.43	45.70	0.08	50.83	0.40	54.04
25	Dadae 1-dong	0.28	52.79	-0.07	49.32	-0.63	43.72	-0.38	46.16	0.32	53.17	-0.06	49.35	2.56	75.65
26	Jangnim 1-dong	-0.81	41.92	-0.52	44.78	-1.03	39.68	-0.92	40.80	-0.65	43.51	-0.36	46.41	-0.32	46.84
27	Nambumin 2-dong	-0.82	41.81	-0.18	48.20	-0.99	40.07	1.55	65.45	-0.79	42.09	-0.43	45.68	0.40	54.04
28	Gamcheon 1-dong	1.74	67.37	-1.11	38.88	0.35	53.54	-0.15	48.53	0.41	54.09	-0.43	45.68	-0.32	46.84
29	Nambumin 1-dong	0.36	53.58	-1.05	39.47	-0.57	44.34	0.94	59.43	-0.79	42.10	-0.87	41.26	-0.68	43.24
30	Ami-dong	0.28	52.80	-0.35	46.50	-0.36	46.41	0.55	55.48	2.44	74.43	-0.06	49.35	-0.32	46.84
31	Seodaesin 3-dong	0.64	56.43	0.84	58.36	1.53	65.27	-1.06	39.38	-0.47	45.28	-0.73	42.74	-1.04	39.63
32	Choryang 2-dong	2.02	70.18	1.53	65.27	3.14	81.36	1.03	60.28	-0.89	41.13	0.38	53.77	-0.68	43.24
33	Dongsam 1-dong	1.51	65.09	1.89	68.90	0.91	59.08	-0.47	45.33	0.79	57.93	0.52	55.24	1.84	68.45
34	Cheonghak 2-dong	-0.64	43.61	1.07	60.65	-0.54	44.59	0.32	53.22	-0.73	42.74	-0.06	49.35	0.40	54.04
35	Bongnae 2-dong	-0.40	45.97	0.32	53.23	-0.47	45.29	0.64	56.44	-0.82	41.80	-0.95	40.53	-1.04	39.63
36	Dongsam 2-dong	0.35	53.47	-1.09	39.13	0.80	58.04	-1.65	33.46	0.29	52.92	-0.95	40.53	-1.40	36.03
37	Yongdang-dong	-0.87	41.29	-1.16	38.37	-0.29	47.07	-1.43	35.71	3.17	81.73	-0.73	42.74	-1.40	36.03
38	Munhyeon 3-dong	-1.16	38.43	0.05	50.45	-1.07	39.33	0.89	58.88	-0.75	42.54	-0.73	42.74	-1.04	39.63
39	Danggam 4-dong	0.18	51.84	-0.45	45.51	0.15	51.53	0.78	57.85	-0.29	47.06	-0.36	46.41	-0.68	43.24
40	Gwaebeop-dong	0.18	51.84	-0.45	45.51	0.15	51.53	-0.85	41.54	0.99	59.88	-0.21	47.88	0.04	50.44
41	Jurye 2-dong	0.53	55.26	-0.90	40.95	-0.10	49.05	-0.96	40.39	2.55	75.51	3.02	80.24	0.04	50.44

Table 5(부록참조)은 평가인자별 값을 표준화하고 편차치로 환산하여 정리한 것이다.

4.2 평가인자의 가중치 산정

설해취약지역의 위험도 평가에 앞서 평가요인별 인자들에 대한 중요도를 산정하기 위해 계층분석기법(AHP)을 사용하였다. Fig.

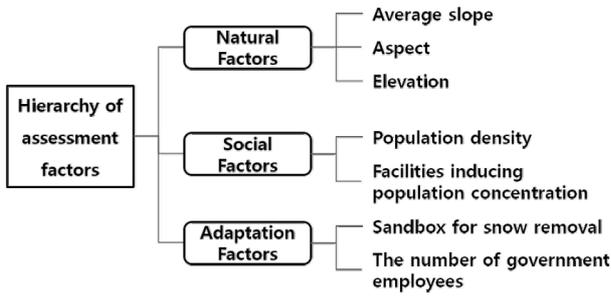


Fig. 4. Hierarchy of assessment factors

Table 6. Survey data less than 10%(C.R.)

Survey	asse. factors	natural factors	social factors	adap. factors
the number of questionnaires	30	31	55	55

Table 7. Weight of assessment factors

level 1. factors		level 2. factors		weight
Natural Factors	0.620	Slope	0.674	0.418
		Elevation	0.143	0.089
		Aspect	0.183	0.113
Social Factors	0.184	pop. density	0.462	0.085
		Facilities	0.538	0.099
Adaptation Factors	0.196	Sandbox	0.692	0.136
		gov. employees	0.308	0.060

4는 계층적 분해(hierarchy decomposition)방법을 이용하여 설해 위험도에 관한 요인들을 계층적으로 분류한 것이다.

신뢰할 수 있는 중요도를 산정하기 위해 관련 전문가 및 실무 전문가를 대상으로 설문조사를 실시하였다. 전문가로는 도시계획 및 교통 그리고 기후변화 관련 전문가를 대상으로 하였고, 실무 전문가로는 연구지역인 부산광역시의 각 구청 자연재난 업무 담당자, 사전재해영향평가 업무 종사자 그리고 부산지방경찰청 도로과 및 도로교통공단 직원들을 대상으로 조사하였다. Table 6은 조사된 설문자료 중 일관성 검증을 통해 서수적 순위에 무리가 없는, 즉 일관성비율(consistency ratio : C.R.) 값이 10% 이내인 자료 수를 정리한 것이다.

일관성비율(C.R.)은 아래 수식 (2)와 같다.

$$C.R. = \frac{C.I.}{R.I.} = \frac{\lambda_{max} - N}{N - 1} \times \frac{1}{R.I.} \quad (2)$$

여기서, C.I. : 일관성지수, R.I. : 확률지수,
 λ_{max} : 최대 고유값, N : 행렬의 크기 이다.

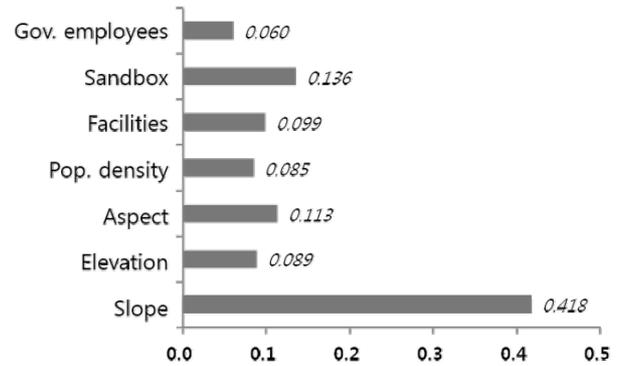


Fig. 5. Weight of assessment factors

앞서 설해위험평가요인 및 인자들의 일관성 검증을 통해 추출한 자료를 계층분석기법에 적용하였다. 이때 자료의 기하평균을 이용하였으며, Table 7은 평가요인 및 인자별 상대적 중요도를 종합한 것이다.

설해위험에 대한 위험은 자연적 요인, 특히 그중에서도 경사도가 가장 큰 위험요인임을 보여준다. 적용 요인의 제설함 개수는 위험을 저감시키는 변수로써, 동절기 폭설 시 그 피해를 최소화 하는데 중요 의미가 있음을 의미한다.

4.3 설해취약지역별 위험도 평가 및 지역 현황

본 연구에서는 선정된 지역별 위험도를 평가하기 위해서 평가요인을 자연적 요인, 사회적 요인 그리고 적용 요인으로 구분하고 각 요인별 평가인자를 선정하였다. 또한 각 평가인자별 중요도 산정을 위해 계층분석기법(AHP)을 이용하고 관련 전문가 및 실무 담당자를 대상으로 설문조사를 실시하여 평가인자별 가중치를 산정하였다. 위험도 평가 방법은 서울시정개발연구원(2006)에서 진행한 “서울시 지역안전도 평가”의 “위험성지수”를 본 연구의 특성에 맞추어 변용하여 설해취약지역의 우선순위를 평가하는데 사용하였다.

$$\text{위험도지수} = \alpha \times \text{자연적요인} + \beta \times \text{사회적요인} - \gamma \times \text{적용요인} \quad (3)$$

여기서, α, β, γ 는 계수로써 평가요인별 가중치를 의미한다. 시설적 요인의 평가인자 ‘제설함 개수’는 설해위험의 저감을 의미하므로 그 기호는 ‘-’로 표현하였다. 또한 각 요인들의 평가인자들에 대한 계산은 수식 (4)과 같이 행렬식으로 표현할 수 있다.

$$\text{위험도지수} = (\alpha_1 \alpha_2 \alpha_3) \begin{pmatrix} \text{경사도} \\ \text{표고} \\ \text{향} \end{pmatrix} + (\beta_1 \beta_2) \begin{pmatrix} \text{인구밀도} \\ \text{유인시설} \end{pmatrix} - (\gamma_1 \gamma_2) \begin{pmatrix} \text{제설함개수} \\ \text{공무원수} \end{pmatrix} \quad (4)$$

$\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \beta_1, \beta_2, \gamma_1, \gamma_2$ 는 각 평가인자별 가중치를 사용하고 각 인자의 값은 표준점수에서 환산된 값인 편차치를 사용한다. 다음 Table 8은 선정된 설해위험지역들의 위험도에 따라 정리한 것 이다.

위험도 평가결과 설해에 가장 취약한 지역은 위험지수 43.00의 ‘만덕 3동’과 위험지수 40.79의 ‘연산3동’이 선정되었다. 만덕3동의 경우 백양산 북쪽에 위치하고 있어 도로의 경사도가 높고 대부분이 읍지에 해당한다. 또한 인구밀도가 13,611(명/km²)로 타동에 비해 높은 편이고 인구유인시설로는 덕양초등학교, 백산초등학교,

Table 8. Risk assessment results for vulnerable areas

Id	priority	name	risk index
2	1	Mandeok 3-dong	43.00
17	2	Yeonsan 3-dong	40.79
3	3	Deokcheon 3-dong	39.83
36	4	Dongsam 2-dong	39.06
27	5	Nambumin 2-dong	37.95
39	6	Danggam 4-dong	36.97
30	7	Ami-dong	36.15
18	8	Gaya 3-dong	35.94
1	9	Mandeok 2-dong	35.08
29	10	Nambumin 1-dong	32.47
41	11	Jurye 2-dong	32.44
6	12	Sajik 2-dong	32.20
35	13	Bongnae 2-dong	31.92
22	14	Goejeong 4-dong	31.70
21	15	Eomgung-dong	31.52
:	:	:	:

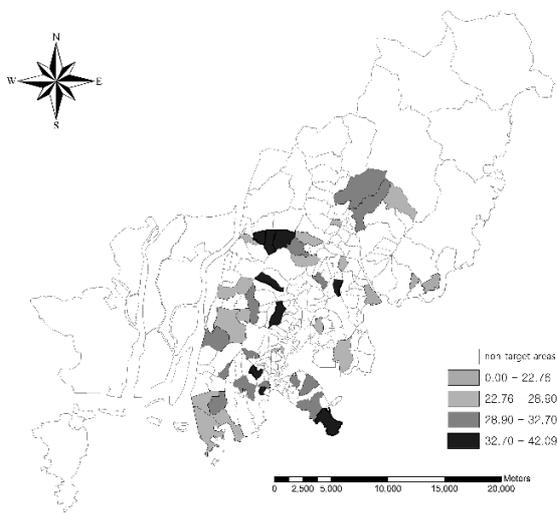


Fig. 6. Risk index of vulnerable areas

신덕중학교 등이 위치하고 있어 학생들의 등하교시간에 교통량이 높은 곳으로 예상된다. 연산3동의 경우 평균 경사도가 35.85%, 향이 39.91%이고 특히, 인구밀도가 21,495(명/Km²)으로 41개

Table 9. Natural factors of Mandeok 1-dong

priority No.1	spacial analysis	road photos
1	slope	2010-11-24
	aspect	
	elevation	2011-01-04

Table 10. Natural factors of Yeonsan 3-dong

priority No.2	spacial analysis	road photos
2	slope	2010-11-24
	aspect	
	elevation	2011-01-04

지역 중 두 번째로 높은 지역으로 만덕3동과 비슷한 환경을 가지고 있다. Fig. 6은 Table 8을 기반으로 하여 위험도 평가 결과의 등급을 자연분류법(Natural Breaks, Jenks)을 이용하여 분류하고 도식화한 것이다.

Table 9, Table 10은 위험도 지수가 가장 높은 두 지역에 대하여 GIS 분석 및 현장답사 사진을 정리한 것이다. 두 지역은 대부분 도로의 경사가 급하였고 특정 지역들은 차량을 이용하더라도 쉽게 접근하기 어려운 상태였다. 또한 인구밀도가 높고 초·중·고등학교 및 대학교가 위치하고 있어 타 지역에 비해 상대적으로 유동인구가 높은 편이었다. 게다가 실제 눈이 온 2011년 1월 4일에 다시 현장답사를 하여보니 대상지역의 도로 대부분이 눈이 녹지 않은 상태였으며 거의 모든 도로가 2차선 이하로 폭설이 내린다면 교통마비에 의한 큰 혼란을 초래 할 것으로 판단된다.

5. 결론 및 정책제언

본 연구에서는 여러 기후변화 사상 중 폭설이 도시에 미치는 위험 정도를 나타내기 위해 자연적 요인, 사회적 요인, 적응 요인 등을 평가하였다. 인구가 집중되어 있는 도시는 사회기반시설의 역할이 매우 중요하며 그 기능이 마비될 경우 큰 혼란을 초래하게 된다. 연구지역인 부산광역시는 도심 내 구릉성 산지가 많이 분포하고 있어 도로의 경사, 표고, 향 등 지형적 특성들이 폭설에 취약한 구조로 형성되어 있다. 역사적으로 겨울철 설해가 적었던 탓인지 폭설에 대한 고려 없이 구릉지에 개발이 지속되어 왔던 것이 사실이다.

그러나 지난 20년 동안의 부산광역시 적설량 추이를 살펴보면 그 빈도와 양이 점차 증가하고 있다. 이는 부산광역시가 더 이상 폭설의 안전지대가 될 수 없음을 의미하고 동시에 설해피해저감 활동 및 적응능력 향상을 위한 대응방안의 필요성이 대두됨을 의미한다.

설해피해를 저감시키고 폭설 적응능력을 키우기 위해서는 먼저 취약지역선정 및 위험도 평가가 선행되어야 한다. 본 연구는 연구지역내 도로가 위치한 지형적 특성(경사도, 향, 표고)을 중심으로 설해예상취약지역을 선정하고 해당 지역의 위험도를 평가함으로 적응정책수립 시 기초자료로 활용될 수 있도록 하였다.

연구결과에 대한 활용방안으로는 첫째, 재해 대응계획 수립 시 어느 지역을 중점적으로 조치할 것인가에 대한 우선순위를 제시 할 수 있다는 것이다. 이는 방재사업의 추진과 투자에 있어 무분별한 자원낭비 및 시행착오에 대한 시간을 절약할 수 있는 기회를 제공한다. 둘째, 위험도 평가결과에 의해 수립된 장기적인 방재계획은 해당지역의 재개발사업 및 기반시설에 대한 정비 시 활용될 수 있다. 항구적인 방재계획은 도시계획의 방재와 안전에

대한 계획 수립 시 기초자료 반영되어 체계적이며 합리적인 재개발 사업과 기반시설의 재정비를 도모할 수 있을 것이다. 관련 도시계획으로는 기반시설에 대한 것으로 도시관리계획의 기반시설의 설치·정비·개량에 관한 계획 그리고 기반시설의 배치와 규모, 교통처리 계획 등을 포함하고 있는 지구단위계획 등을 꼽을 수 있다. 앞으로 폭설에 의한 설해뿐만 아니라 도시의 기반시설의 적응역량강화 차원에서 개별 기후사상 및 기반시설에도 사전 위험도 평가와 관련 도시계획들의 연계 및 병행이 이루어져야 할 것이다. 또한 이는 지속가능한 발전의 개념적 틀 안에서 계획되고 실행되어야 할 것이다.

감사의 글

본 연구는 소방방재청 자연재해저감기술개발사업의 지원으로 수행한 ‘지역특성을 고려한 재해영향 분석기법 고도화’ [NEMA-자연-2012-59-2012201]과제의 성과입니다.

References

- Shim, J.-H., Lee, S.-H. (2008). “A study on the decision making for location selection of large-scale discount stores.” *Journal of Korean Society of Civil Engineers, Korean Society of Civil Engineers*, Vol. 28, No. 5D, pp. 705-712 (in Korean).
- Lee, H.-Y., Shim, J.-H. (2011). *Geographic information systems*, Bobmunsa. pp. 306-322 (in Korean).
- Lee, C.-H. (2006). *Development of the regional safety assesment model in seoul*, Seoul Development Institute (in Korean).
- Ryu, G.-Y., Kim, I.-A. (2008). *Development and application of a climate change vulnerability index*, Korea Environment Institute (in Korean).
- Myung, S.-J. (2009). *Assessing vulnerability to climate change of the physical infrastructure in korea and developing adaptation strategies*, Korea Environment Institute (in Korean).
- Pusan Disaster and Safety Countermeasures Headquarters (2005). *Natural disaster relief in winter, 2005*, Pusan Disaster and Safety Countermeasures Headquarters (in Korean).
- Pusan Disaster and Safety Countermeasures Headquarters (2010). *Natural disaster relief in winter, 2010*, Pusan Disaster and Safety Countermeasures Headquarters (in Korean).
- KRIHS (2005). *GIS application methods for national territorial disaster prevention*, Korean Research Institute for Human Settlements (in Korean).
- IPCC (2007). *Impacts, adaptation and vulnerability*, Fourth Assessment Report : Climate Change 2007 (AR4).
- IPCC (2001). *The scientific basis*, Third Assessment Report : Climate Change 2001 (TAR).