

대설피해예측함수의 문제점 분석 및 제설취약지역 재해저감을 위한 대응 방안 제언



이형주
호서대학교
재난안전시스템학과
박사과정
tnwkdnjs2012@naver.com



정건희
호서대학교
건축토목공학부 부교수
호서대학교 일반대학원
재난안전시스템학과
전공주임
gunhuic@gmail.com

01 연구 배경

전 세계적으로 지구온난화에 따른 급격한 기후변화로 인해 전 세계적으로 해수면 상승, 한파, 폭설, 가뭄, 국지적 집중호우, 홍수 등으로 다양한 자연재난이 존재하며, 그 재난들의 강도와 빈도가 점차 증가하고, 사회·경제적으로 심각한 피해를 주고 있다(Ha et al, 2007; Kim et al, 2014). 행정안전부에서 매년 발간하는 재해연보를 살펴보면 우리나라의 대표적인 자연재해는 태풍과 호우에 의한 피해가 가장 큰 피해를 야기하지만, 2002~2020년 동안 우리나라의 자연재해 피해액 중 눈과 관련된 피해는 연평균 1,700억 원으로 전체 자연재해 피해액의 약 12%에 해당되어(행정안전부, 2020), 대설피해에 대한 관심은 계속 증가하는 추세이다.

최근 대한민국에서 발생한 대설피해를 살펴보면, 2022년 12월 13일부터 하순까지 해기차로 인해 서해안 및 전라도를 중심으로 발생한 대설피해는 전라도를 시작으로 서부 지방에서 폭설이 심해졌다. 특히 이 폭설의 가장 큰 피해를 입은 광주광역시는 기상청이 적설량을 관측한 1939년 이후 역대 3번째로 높은 최심적설량과 신적설량 2위를 기록했다. 이 대설피해로 인해 수도관 파열, 빙판길 사고, 공항 및 항구 폐쇄 등 다양한 피해를 야기했다. 또한 2021년 1월 6일 서울 경기 중부 일대에 퇴근 시간대 10 cm가 넘는 눈이 내려 퇴근길이 마비되는 사태가 발생했으며, 같은 해 3월 1~2일 강원도 영동지역을

중심으로 20 cm 이상의 눈이 내려 차량 수백 대가 10시간 이상 서울양양고속도로 등 도로에 고립되었다. 또한, 강원도 동해와 삼척시 등지에 3월 초 1m 이상의 적설을 기록하거나, 눈이 거의 내리지 않던 대구에 2010년 이후 연간 20cm 이상의 눈이 내리는 등 과거와는 다른 양상으로 눈이 내리는 경우가 많다.

국내의 대표적인 대설 피해 사례를 살펴보면, 그림 1에 나타난 것과 같이, 2001년 중부지방을 중심으로 대설이 발생하여, 대관령에 1m 이상, 서울에 14.8 cm, 부산에 12.4 cm 등의 적설량을 기록하여 건축물 붕괴, 비닐하우스 등 농작물과 원예 시설 파손, 축사 및 잠사 시설 파손 등 대규모 피해가 발생하여 총 피해액이 약 8천억에 달했다. 이후, 2004년에도 중부 지방에 3월 적설량으로 최고 기록을 세우며 대전에 49.0 cm의 적설심을 기록하고, 경부고속도로에 30시간 이상 차량이 고립되는 등 대규모 재난이 발생해 약 7천억에 달하는 피해가 발생했으며, 2005년에도 3월에 부산 37.2 cm, 영덕 61.0 cm 등 대설이 발생하고, 12월에도 호남지방에 대설이 발생해 피해액이 5천억원을 넘었다.

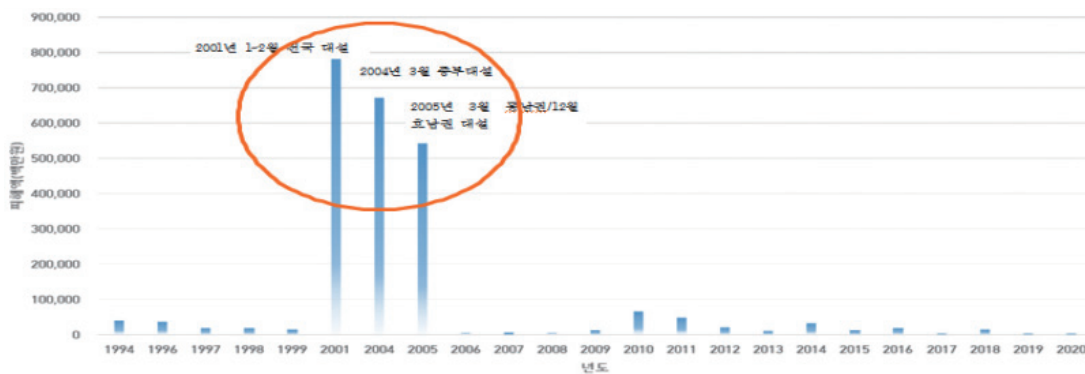


그림 1. 1994~2020(26년 간) 공공시설 및 사유시설 대설피해액(재해연보 기준)

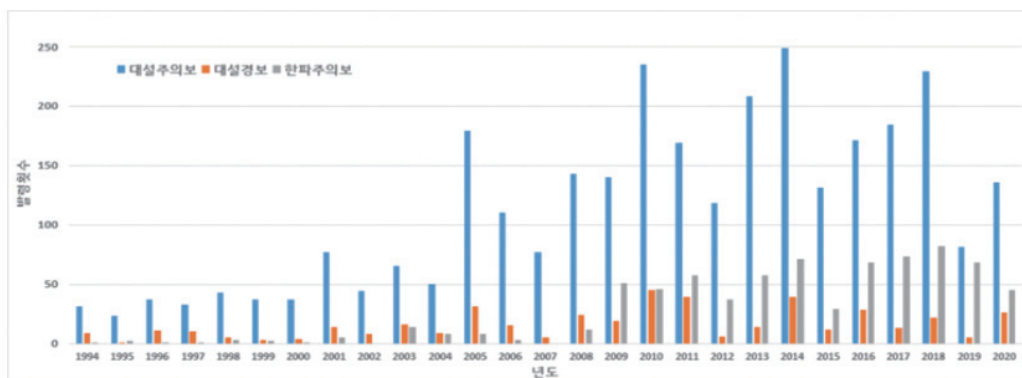


그림 2. 우리나라 연도별 대설주의보, 대설경보 및 한파주의보 발령횟수(재해연보 기준)

이후 대설피해 저감을 위해 2007년 4월 농림축산식품부에서는 원예특작시설 내재해형 기준을 마련하여 현재까지 지속적인 개정을 통해 대설 및 강풍 피해 저감을 하고 있으나, 여전히 최근에도 강원도에서 2011년, 2014년 100cm 이상, 2021년 12월 25일 30cm, 2021년 3월 2일 88cm의 적설심을 기록하는 등 대설 발생빈도가 높아지고 있으며, 2016년 1월 제주도에는 32년만의 대설과 한파가 찾아와 제주공항이 폐쇄되는 상황이 발생했다(한라산 적설심 150cm 이상). 2007년 12월 광주 41.9 cm, 2011년 1월 포항에 69년만의 최대 적설심 28.7 cm 등 과거 눈이 내리지 않던 지역에 폭설이 발생하는 경우가 빈번해졌다. 이를 뒷받침하기 위해 매년 발표되는 대설주의보, 대설경보 및 한파주의보 횟수를 살펴보면, 최근 들어 발령횟수가 많아지고 있다는 것을 알 수 있다(그림 2).

그러므로 대설 피해를 예측하고 저감하기 위한 연구가 지속적으로 수행되어야 할 것이나, 그 동안 구조물 피해와 도로 중심의 피해를 통합해 관리하는데 적극적이지 않았으며, 다른 자연재해에 비해 국지적인 피해를 야기하고, 그림 1에서 알 수 있는 것과 같이, 대설피해가 매년 발생하지 않고 상대적으로 피해액이 크지 않은 연도가 많기 때문에 연구에 대한 관심이 상대적으로 크지 않은 것도 사실이다. 그러나 여전히 우리나라의 3번째로 큰 피해를 야기하는 자연재해이며, 피해 예측이 어렵기 때문에 대설피해를 적극적으로 예측하고, 피해를 저감하기 위한 현장의 대응력 제고를 위한 연구를 제안하였으며, 이를 위해 레이더나 현장 계측장비를 이용해 적설심 및 적설하중을 정확하게 예측하고, 빠르게 피해지역에 피해 예상 규모를 전달함으로써 조기 대응을 유도하여 현장의 대응력을 높이기 위한 연구를 제안하였다.

02

「기후변화로 인한 대설 피해 추정기술 고도화」 연구 과제 소개

현재 호서대학교 산학협력단에서는 기후변화로 달라진 강설 특성을 고려한 대설 피해 예방 및 저감을 위해 서울대학교 산학협력단, 홍익대학교 산학협력단, 한국건설기술연구원, (주)에이치큐테크, (주)헤르메시스의 연구자와 함께 「기후변화로 인한 대설 피해 추정기술 고도화」 과제를 2022년 5월에 시작해 총 3년 8개월 기간 동안 수행할 예정이다.

본 연구단은 기후변화로 달라진 강설 특성을 고려한 대설 피해 예방 및 저감을 위해 관련 데이터베이스를 수집하여 표준화하며, 고정밀 이중편파 레이더 관측 및 위성영상 정보, 빅데이터 등을 활용하고, 인공지능(AI) 기술을 접목하여, 대설 피해 시점 및 위험 정도를 모니터링 및 조기 대응하고 현장대응력을 높이기 위한 기술 개발 및 리빙랩 운영을 통한 검증을 실시하고자 한다. 위와 같은 목표를 달성하기 위해 ① 다중이중편파레이더 기반 적설심 및 적설하중 분석 기술, ②인공지능 활용 적설하중 위험 자율추정 알고리즘 개발, ③AI기반 적설 취약 구조해석 및 파괴 알고리즘 개발,

④대설 피해예측함수 고도화 및 풍수해피해예측시스템 연계, ⑤리빙랩 운영을 통한 개발 기술 검증 및 적용을 통해 대설 피해예측시스템을 고도화 하려고 하며, 5가지의 핵심성과 별 세부 수행계획은 그림 3과 같다. 각 핵심성과에서 개발된 요소기술을 핵심성과 4의 마지막 단계인 대설피해 예측 고도화에 적용된다.

본 연구에서 다중이중편파레이더 기술이나 인공지능 기반 적설심 및 적설하중 예측기술을 제안한 이유는 적설심 관측의 어려움 때문이다. 현재 적설은 전국에 132개 기상 관측 지점에서 관측되고 있으며, 기상청에서 지속적으로 레이저 적설관측장비 설치를 확대하고 있으나, 관측소 간 거리가 20km 이상인 지역이 많고, 관측값의 신뢰도가 높지 않아 국지적으로 발생하는 대설에 대한 정밀 관측은 불가능한 실정이다. 강우 발생 시 유역 유출이 발생하여 하천 하류에 피해를 유발하는 것과 달리, 국내에서 겨울철에 발생하는 대설은 폭설이 발생한 지점에 위치한 시설물 및 도로에 피해를 야기한다. 그러므로 정확히 폭설이 발생하는 지점을 예측하고 그 지역에 피해 발생이 가능한 시설물이나 도로 등을 분석하는 것은 대설 피해 예방에 중요한 요소 기술이 될 수 있다. 그러므로 적설의 공간적인 분포와 위치 정보 분석이 가능한 레이더 분석 기술이나 인공지능 기술 접목이 연구에 필수적이라 할 수 있다.

03
**대설피해예측
함수의 문제점
분석**

3.1 풍수해피해예측시스템에 탑재되어 있는 대설피해예측함수 설명

「풍수해 직접간접 피해를 고려한 피해 산정 및 예측 기술개발(행정안전부, 2020)」는 행정안전부에서 2015~2019년까지 총 5년에 걸쳐 수행한 연구개발과제이며, 이 중 ‘재해통계 기반 피해예측 기술 개발’에서 호우, 태풍, 강풍, 풍랑과 함께 대설피해예측함수를 개발하였다.

기 개발된 대설피해예측함수는 재해연보에 기록된 대설피해사례의 통계분석을 통해 신속하게 재해의 규모를 예측하는 것을 목적으로 하였으며, 재해연보에 기록된 시설물 중 비닐하우스만을 대상으로 1994년 이후 재해연보에 기록된 총 832개의 대설피해사례를 이용하여 전국 229개 시군구별피해예측함수를 개발하였다.

피해예측을 위해 시군구별 비닐하우스 설계기준, 비닐하우스, 시설재배면적, 실시간 관측적설심이 입력 자료로 사용되며, 비닐하우스 설계기준을 초과하여 내린 적설심의 비율과 비닐하우스 시설재배면적 중 피해면적의 비율이 상관관계가 높으므로, 피해면적의 비율을 계산함으로써 피해액을 예측하는 방식이다(그림 4).

3.2 기존 대설피해예측함수의 한계점

기 개발된 대설피해예측함수를 분석한 결과 통계모형의 한계, 자료의 부족 등 다양한 이유의 한계점을 발견하였고, 대설피해예측함수의 한계점은 다음과 같다.

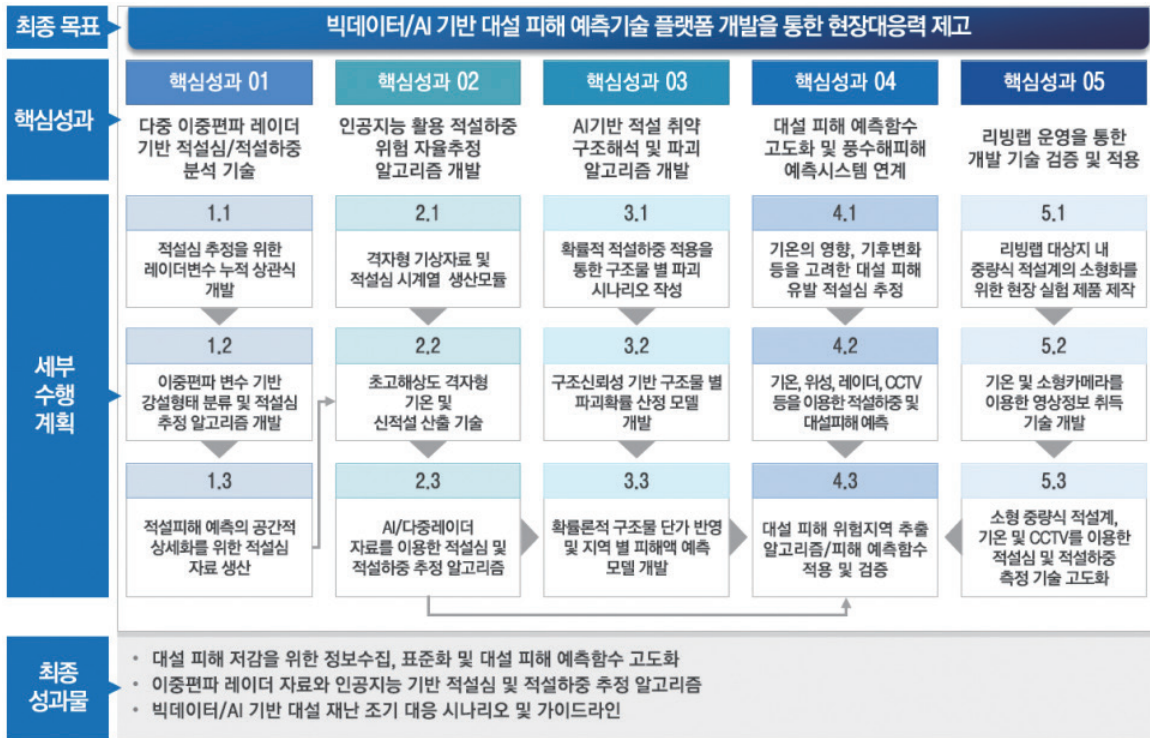


그림 3. 연구개발과제의 최종 목표

- (통계모형의 한계) 2006년에 비닐하우스 설계기준이 강화되어, 같은 양의 적설에 대한 피해규모가 달라졌음에도 불구하고, 통계모형을 기반으로 개발된 모형이므로, 그림 1과 같이 2001, 2004, 2005년에 발생했던 매우 큰 피해액에 의해 모형 전체가 좌우되고, 피해액을 과대 산정하는 경향이 있다.
- (자료의 부족) 과거 25년간 발생했던 대설피해이력을 모두 고려했음에도 불구하고, 같은 시군구에서 최대 피해가 발생했던 사례는 총 12회, 총 68개(29.7%) 시군구에서 피해가 한 번도 발생하지 않았고, 10회 이상 피해가 발생한 시군구는 단 10개 지역이므로, 시군구별 통계모형을 구축하기에는 자료가 절대적으로 부족하다. 기 개발된 대설피해예측함수는 1994~2018년 동안 발생한 대설피해이력을 활용하여 모형을 구축하였다. 따라서 가장 최신에 발간된 재해연보 년도를 기준으로 1994~2022년 동안 대설피해이력을 추가 조사한 결과 10회 이상 피해가 발생한 시군구는 단 29개 지역으로 아직까지도 자료는 현저히 부족한 상태이다(그림 5).
- (통계적 상관성 부족) 재해연보에 기록된 피해사례들 중 같은 적설심에도 피해가 발생하는 경우와 발생하지 않는 경우가 공존하고, 적설심과 피해액과의 상관관계가 높지 않다. 또한 기 개발된 대설피해 예측함수에 사용된 입력 자료를 다시 분석하였으며, 1994~2018년에 발생한 대설피해 이력 816개 중 설계기준 적설심보다 적



그림 4. 기 개발된 대설피해예측함수 추정피해액 계산절차(행정안전부, 2020)

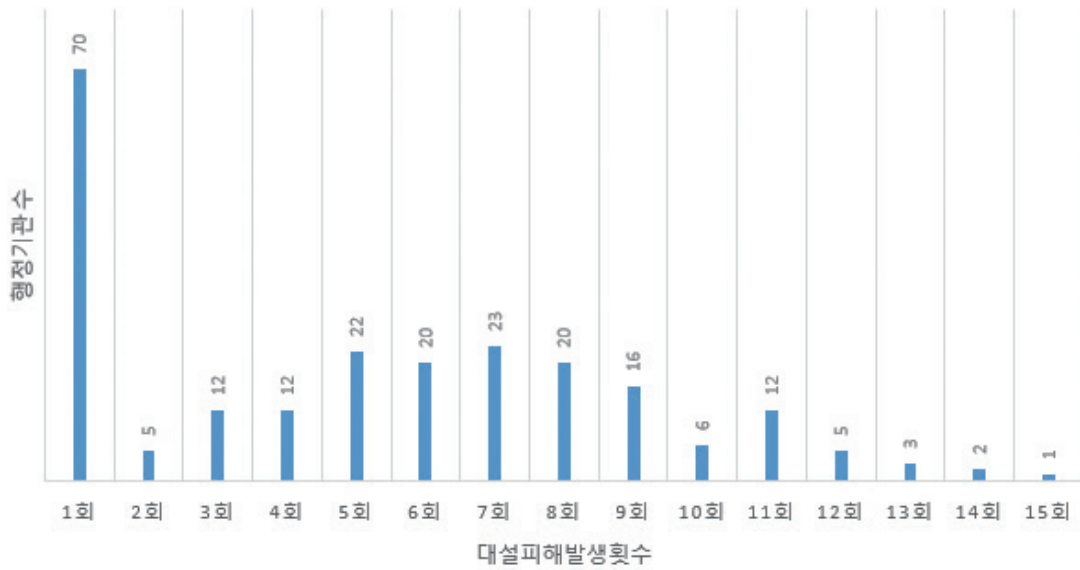


그림 5. 1994~2022년 10회 이상 피해 발생 시군구 현황

은 적설량에도 피해가 발생한 사례(748건)가 대부분이다.

- (적설심 관측자료의 낮은 신뢰도) 229개 시군구별 모형을 구축하기에는 종관기상 관측소에서 관측되는 적설심은 단 73개소 뿐 이므로, 피해지역과 관측소 간 이격거리로 인해 피해가 발생했는데도 해당 지역의 적설심 관측자료가 존재하지 않는 경우가 다수 있었다.

04

제설취약지역 재해저감을 위한 대응 방안 제언

4.1 제설취약지역 재해저감을 위한 기초자료 분석

제설취약지역 재해저감과 대응을 위한 기초자료 분석을 위해 전국 시군구별 적설취약구간 현황을 조사하고, 적설취약구간에 설치되어 있는 제설장비 현황 데이터를 조사 및 분석하였다. 제설장비 현황 데이터는 모래보관장(개소), 염화칼슘(포), 전담제설장비(대), 전담제설인원(명) 총 4개의 항목으로 관리되고 있다.

분석 결과 모래보관장은 경상남도 지역에 가장 많이 설치되어 있고(그림 6), 염화칼슘의 경우 울산광역시 울주군, 경상남도 창원시, 부산광역시 기장군 순으로 가장 많이 설치되어 있었다(그림 7). 전담제설장비의 경우 경상남도 창원시, 진주시, 서울특별시 강동구 순으로 가장 많이 보유하고 있으며(그림 8), 전담제설인원의 경우 경상남도 창원시, 부산광역시 기장군, 경상남도 진주시 순으로 가장 많았다(그림 9).

표 1을 보면 전국 시군구별 제설장비 현황 데이터 분석 결과 제설취약구간이 가장 많이 존재하는 경상남도에 제설장비 역시 가장 많이 분포하였다. 그러나 충청남도의 경우 2번째로 많은 적설취약구간이 존재하지만 제설장비 보유 현황은 평균 11위에 해당하는 제설장비를 보유하고 있으며, 대구광역시의 경우 15위에 해당하는 적설취약구간이 존재하나 제설장비 보유 현황은 평균 5위에 해당하는 제설장비를 보유하고 있다. 따라서 적설취약구간 현황에 따른 제설장비 투입 우선순위의 변화가 필요해 보인다.

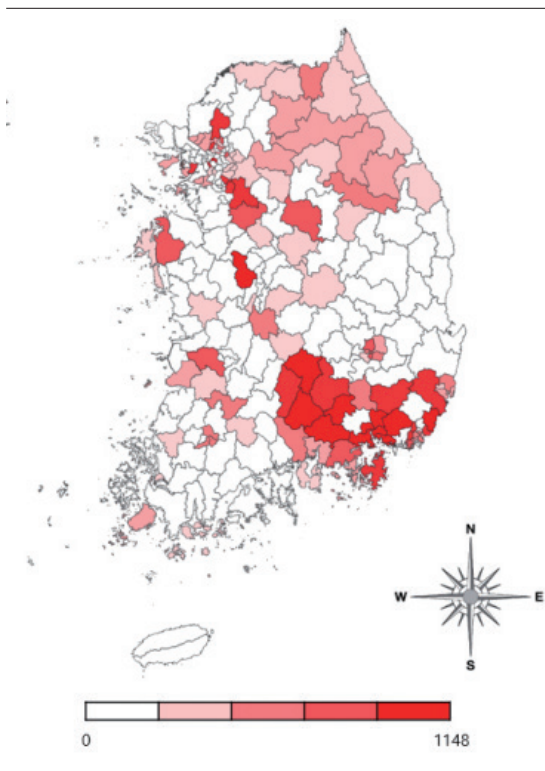


그림 6. 모래보관장(개소) 현황

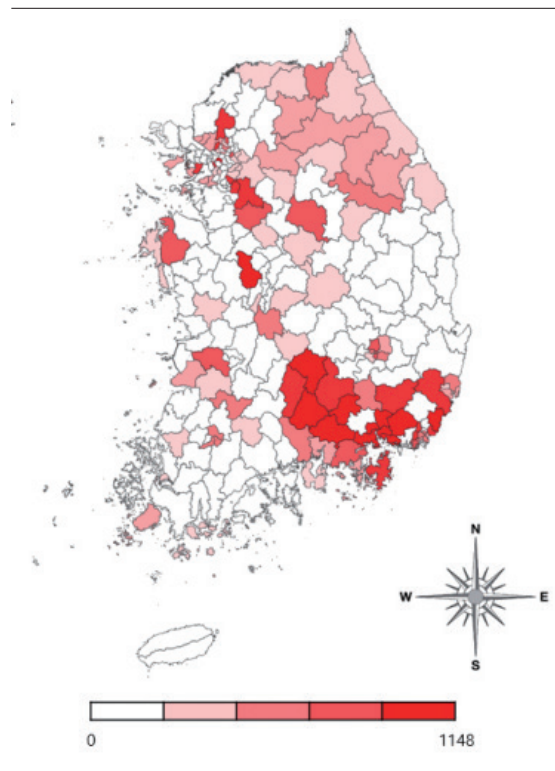


그림 7. 염화칼슘(포) 현황

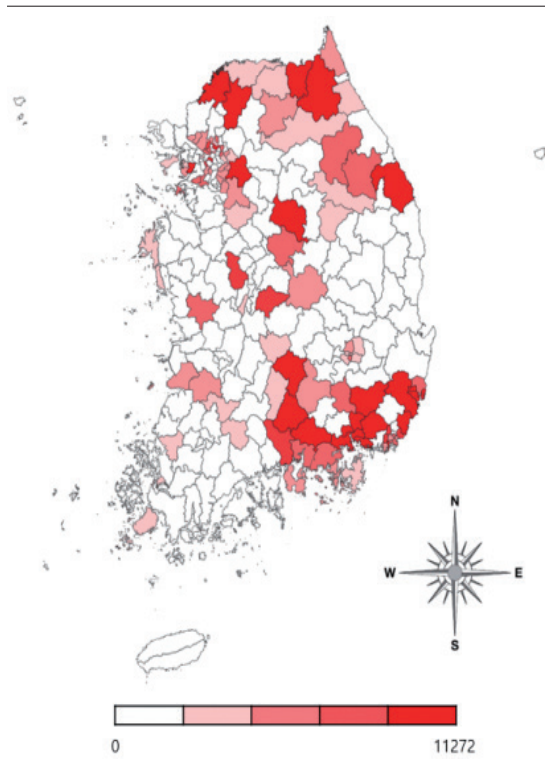


그림 8. 전담제설장비(대) 현황

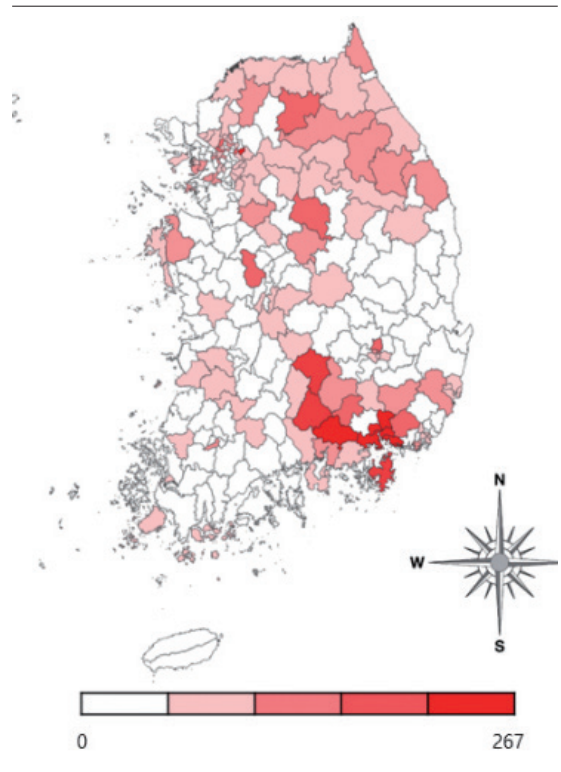


그림 9. 전담제설인원(명) 현황

표 1. 행정구역 제설장비 현황 순위

행정구역	총길이 (km)	순 위	순위 (모래보관장)	순위 (염화칼슘)	순위 (전담제설장 비)	순위 (전담제설인 원)
경상남도	507.77	1	1	2	1	1
충청남도	406.35	2	11	12	11	11
세종특별자치시	374.97	3	5	10	9	10
강원도	236.82	4	8	4	3	7
경기도	144.55	5	4	5	4	5
서울특별시	114.20	6	3	6	2	4
부산광역시	88.25	7	2	3	8	2
충청북도	87.80	8	13	7	6	8
울산광역시	83.20	9	7	1	10	6
전라북도	49.10	10	9	11	12	12
인천광역시	42.21	11	10	8	7	9
광주광역시	40.60	12	12	16	12	14
전라남도	36.80	13	14	13	14	13
경상북도	21.50	14	15	14	14	15
대구광역시	11.61	15	6	9	5	3
대전광역시	6.99	16	16	15	16	16

4.2 과거 자료 및 취약성 분석을 이용한 결과 분석

2022년 기준 제설장비 현황 데이터 분석 결과 우리나라 대설피해 발생 빈도가 높은 지역에 제설장비가 미비하게 설치되어 있는 등 수집한 데이터의 신뢰성에 문제가 있다고 판단되었다. 따라서 과거 취약성 분석을 위해 수집한 2016년 기준 겨울철 제설장비 확보 현황 데이터 및 우리나라 전국 대설 취약성 분석 결과와 비교 분석하였다.

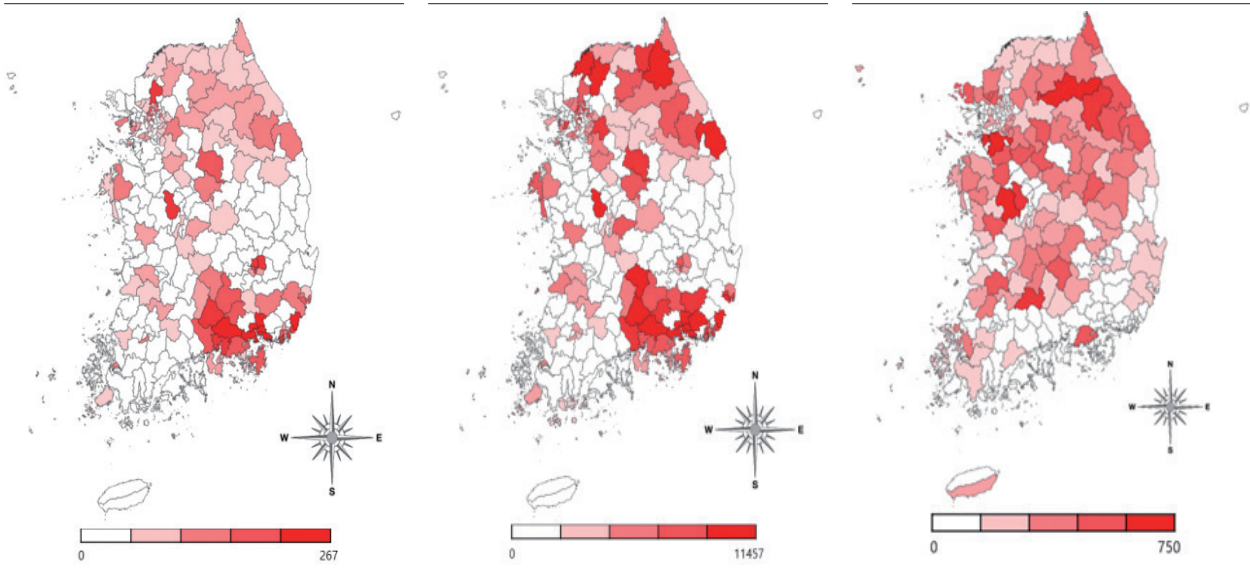


그림 10. 제설장비 확보현황
(2022년 기준)

그림 11. 제설장비 확보현황
(2016년 기준)

그림 12. 대설 취약성 분석 결과

호서대학교 수자원연구실은 최근 DPSIR 모형을 이용하여 전국 대설 취약성 분석을 진행하여 그림 12와 같은 결과를 도출하였다. 평가 결과 서해안 지역에 밀집해 있는 충청도 지역과 강원도 지역이 대설에 취약한 것으로 나타났다. 또한 2016년 기준 제설장비 확보 현황 데이터 분석 결과 취약성 분석 결과와 같이 대부분 서해안 지역과 강원도 지역에 제설장비 수량이 많은 것으로 확인됐다. 2022년 기준 제설장비 확보 현황 데이터는 적설 취약 구간인 제설장비 확보 현황이라고 하더라도 재해 위험성이 떨어지는 경상남도 지역에 제설장비 수량이 밀집되어 있다. 현재 2022년 기준 충청남도는 전국 2위에 해당하는 약 406km 정도의 적설 취약 구간이 존재하나 제설장비 현황 순위는 평균 11위에 해당하는 낮은 보유 현황을 보이고 있다. 따라서 기초 자료 분석 및 대설 취약성 분석 결과를 감안하여 충청남도 지역의 제설장비 투입량을 증대할 필요가 있다고 판단된다.

05
향후 전망 및
기대 효과

본 고에서는 기후변화로 인한 대설 피해 추정기술 고도화 과제의 간략한 설명과 호서대학교에서 맡은 부분의 연구 성과를 설명하였다. 과제의 최종목표는 고도화된 대설피해 예측함수를 풍수해피해예측시스템에 탑재하여, 재난 발생 시 미리 구축된 알고리즘에 따라 실시간으로 재난의 규모를 예측하여 재난 규모에 맞게 대응이 이루어 질 수 있도록 할 계획이다. 본 과제에서 개발한 기술개발은 기 개발된 대설피해예측함수 고도화를 통한 지속적인 연구개발사업 결과 적용을 통한 성과 확산이 가능하며, 세밀하고 정확도 높은 적설하중 위험 추정으로 대설로 인한 도로 및 농업 부문의 피해를 저감할 수 있을 것으로 기대된다.

참고문헌

행정안전부(2020), 「재해연보 2019」

행정안전부(2021), 「재해연보 2020」

Ha, R., H.J. Shin and S.J. Kim (2007) Proposal of prediction technique for future vegetation information by climate change using satellite image, Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies, Vol. 10, No. 3, pp. 58-69.

Kim, J.S., Kim H.Y. and Lee, S.H. (2014) A review on improvements of climate change vulnerability analysis methods: focusing on sea level rise disasters. Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies, Vol. 7, No. 1, pp. 50-60.