

기후변화, 빙하 소실과 기후위기의 도래에 따른 물 재해관리

1. 들어가며

최근 알프스에서 등반 사고로 실종된 산악인들의 시신이 잇달아 발견되는 뉴스를 접하면서 수십 년 넘게 발견되지 않았던 실종자의 흔적이 빈번하게 나타나는 것은 지구온난화로 인한 알프스 빙하 유실이 급속하게 진행되는 상황과 무관하지 않다고 전문가들은 설명하고 있다. 스위스 및 이탈리아 연구기관들은 알프스 빙하가 사라지는 속도가 전례없는 수준으로 이대로라면 2100년이면 알프스 빙하의 80%가 없어질 것이라는 비관적인 전망까지 내놓고 있다.

1980년대부터 제기된 기후변화의 영향은 현재 그 위험성이 더욱 가속화되고 있으며 홍수, 가뭄, 폭염·한파, 산불 등 다양한 자연재해의 발생 빈도와 규모가 증가함에 따라 경제 침체를 포함한 전방위적인 '기후위기'로 이어지고 있다.

이를 대응하기 위해, 우리나라는 2010년 1월 「저탄소 녹색성장 기본법」을 제정하여 기후변화에 대응하기 위한 제도적 기반을 마련하였다. 정부는 이 법을 바탕으로 기후변화 대응 정책을 수립하고 시행해 왔으나, 법률적 한계로 인해 경제와 환경이 조화를 이루는 통합적인 접근에 어려움이 있었다. 이에 따라, 대한민국 국회는 2021년 8월 「저탄소 녹색성장 기본법」을 폐지하고, 탄소중립 사회로의 이행과 녹색성장의 추진을 위한 새로운 법률인 「기후위기 대응을 위한 탄소중립·녹색성장 기본법」을 제정하였다.

이 법은 기후위기를 '극단적인 날씨뿐만 아니라 물 부족, 식량 부족, 해양 산성화, 해수면 상승, 생태계 붕괴 등 인류 문명에 회복할 수 없는 위험을 초래하는 상황'으로 정의하며, 기후위기 적응을 위한 즉각적인 조치를 규정하고 있다. 이것은 국가 기후 변화 대응 체계(Climate Change Response Framework)가 이제는 기후위기 적응 체계(Climate Crisis Adaptation Framework)로 강화되었음을 의미한다.

최근 열린 기후정상회의, P4G(Partnering for Green Growth and Global Goals 2030) 서울 정상 회의, 주요 7국(G7) 정상회의 등 글로벌 정상 회담에서 핵심적으로 다뤄진 주제는 '탄소 제로(Net Zero)'

였다. 기후변화의 주요 원인 중 하나인 지구온난화는 이산화탄소(CO₂), 메탄(CH₄), 아산화질소(N₂O) 등과 같은 온실가스의 증가가 큰 역할을 하고 있기 때문이다. 이에 국제사회는 2050년까지 온실가스 순배출량을 제로(0)로 만드는 것을 목표로 하고 있으며 각국의 정상들은 "기후변화를 막기 위해 협력하지 않으면 미래의 번영은 불가능하다"라고 한목소리로 강조하면서 온실가스 배출량 세계 1위인 중국을 포함한 25개국은 탄소 제로 목표에 동참할 것을 선언하였다.

특히, 유엔(UN)은 기후위기에 대한 우려로 빙하 소실이 미치는 영향에 대해 경고하고 있다. 온난화로 인해 기온이 상승하면 빙하의 윗부분과 아랫부분이 빠르게 녹기 시작하면서 빙하의 소실을 초래하게 된다. 이에 따라 2022년 12월, 유엔 총회는 2025년을 국제 빙하 보존의 해로 선포하는 결의안을 채택하고 올해부터 매년 3월 21일을 '세계 빙하의 날'로 기념한다.

본 고에서는 빙하 소실 및 기후변화 가속화에 따른 영향과 국내의 기관들의 물과 연계된 다양한 자연재해에 대한 대응 방안에 대해서 고찰하고자 한다.

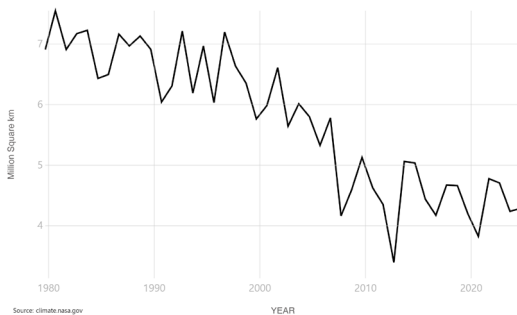
2. 빙하 소실이 기후변화에 미치는 영향

빙하가 녹을수록 기후변화는 가속화된다. 그 이유는 빙하가 지구의 반사율에 영향을 미치기 때문이다. 빙하는 햇빛을 많이 반사하므로 지구의 표면 온도가 조절되는데, 빙하가 녹으면, 얼음 대신 어두운 물이나 토양이 드러나게 되고, 어두운 표면은 햇빛을 더 많이 흡수하여, 표면 온도를 더욱 상승시키는 결과로 이어진다. 이 현상은 변화가 원래의 변화를 더욱 강화하는 과정을 의미하는 긍정적 피드백 루프(positive feedback loop)로 기온 상승을 더욱 가속화시킨다.

최근 연구와 관측에 따르면, 남극의 스웨치츠 빙하와 파인아일랜드 빙하는 매년 유실되는 얼음이 남극 전체 얼음 손실의 약 70%를 차지하고 있다. 미국 항공우주국(NASA)과 해양대기청(NOAA)은 위성, 해양 관측기구 등으로 지구의 태양열 흡수 및 우주로의 방출량 등

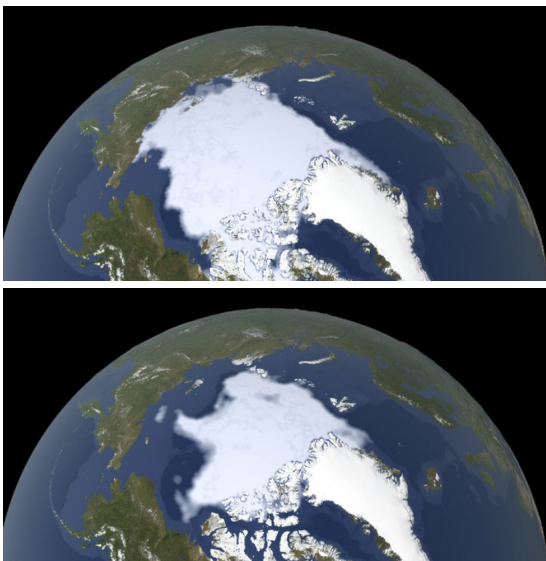
을 측정한 결과, 지구 표면에 흡수되는 태양열이 14년(2005~2019) 동안 2배로 증가하였음을 밝혔다. 지구가 가열되면서 극지, 고산지대 빙하는 급감하고 있다. NASA 등에 따르면, 북극 해빙은 최근 40년 사이 375만km² 감소하였는데 이는 해마다 한국 면적에 가까운 크기가 줄어든 것이다. 남극 대륙, 알래스카·히말라야, 안데스 지역의 빙하도 각각 매년 평균 1,510억~4,000억t씩 감소하고 있고, 또한 여름철의 기온 상승으로 인해 북극 해빙 면적은 10년마다 12.2%씩 줄어들고 있다(그림 1과 2).

<그림 1> 최저 해빙 면적(9월 기준)



출처: <https://climate.nasa.gov/vital-signs/arctic-sea-ice/>

<그림 2> 1980년(좌) 및 2022년(우)의 북극 해빙 면적 비교



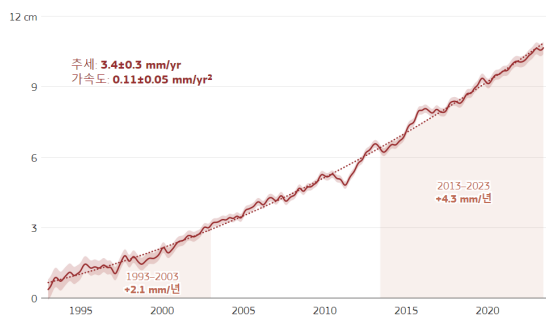
출처: <https://climate.nasa.gov/vital-signs/arctic-sea-ice/>

다만 융해에 따른 빙하소실의 예외도 있다. 중앙아시아의 텐산 산맥 일대 고산지대의 빙하는 대부분 고온과 건조로 상당한 질량을 소실했으나, 일부 빙하 중에는 온난화의 영향을 받아 표면적이 축소되는 것이 아닌 오히려 증가한 사례도 등장하고 있다. 이에 대해 스위스 국립과학재단은 기후변화로 인한 이상 현상의 원인을 찾기 위한 프로젝트들이 시작되고 있다.

3. 기후위기와 해수면 상승

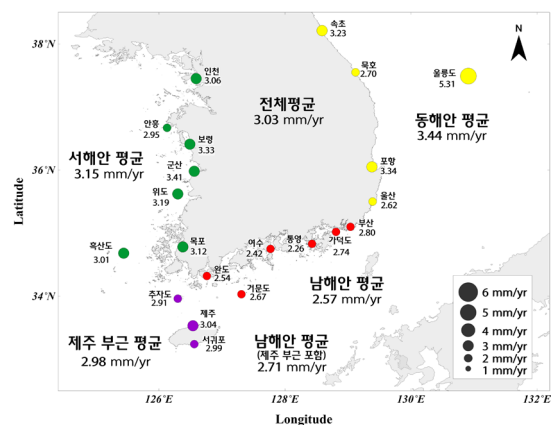
가로, 세로, 높이가 각각 100m인 거대한 얼음덩어리가 하루에 410여 개에서 1,100개씩 사라짐에 따라, 1993년 이후 전 세계 해수면은 연평균 3.4mm씩 상승했으며, 지난 30년 동안 총 10.3cm가 상승하였다(그림 3). 우리나라도 예외는 아니다. 21개 연안 조위 관측소의 해수면 높이 자료를 분석한 결과, 지난 34년(1989년~2022년) 동안 연안의 해수면이 매년 3.03mm씩 상승하여 총 10.3cm가량 상승하였다. 그중 동해안이 연평균 3.44mm로 가장 높았고, 이어서 서해안(연평균 3.15mm), 남해안(연평균 2.71mm) 순으로 나타났다(그림 4).

<그림 3> 전 지구 해수면 상승 현황



출처: <https://climate.copernicus.eu/climate-indicators/>

<그림 4> 우리나라 해수면 상승 현황



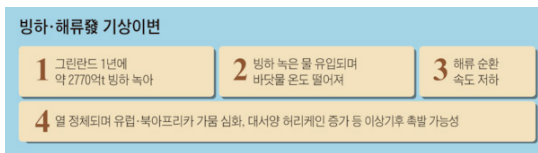
출처: 국립해양조사원 보도자료(2023.12.19)

세계기상기구(WMO)는 '2023년 아시아 기후현황 보고서'를 통해 지난해 아시아 연평균 지표 기온은 1991~2020년 평균보다 섭씨 0.9도 정도 높았다고 밝혔다. 이는 기록상 두 번째로 높은 수치이며 세계 평균 기온보다 더 빠르게 온난화가 진행되고 있는 상황인 것이다. 아시아의 해수면 온도 역시 사상 최고치를 기록하였다. 이처럼 빙하 소실로 인한 해수면 상승은 직접적으로 저지대 지역과 섬 나라에 해수면 상승에 따른 해안침식 및 홍수 등 큰 영향을 미치며

기후 시스템의 변화를 일으켜 날씨 패턴의 극단화와 생태계 변화를 초래할 수 있다(그림 5). 따라서 빙하 소실 현황을 지속적으로 모니터링하고, 이를 기반으로 한 기후변화 대응 전략이 시급하게 필요하다.

또한 빙하 소실과 해수면 상승은 직·간접적으로 생태계, 농업, 물 자수송 인프라 등에도 심각한 영향을 미칠 수 있다. 또한, '기온 상승 → 빙하 소실 → 반사율 감소 → 온도 상승 → 더 많은 빙하 소실'이라는 악순환이 계속되어 기후변화가 가속화되고 그에 따라 더 심각한 수준의 기후 위기로 진입이 빨라지고 있는 상황이다.

<그림 5> 빙하·해류로 인한 기상이변



출처: <https://www.chosun.com/national/transport-environment/>

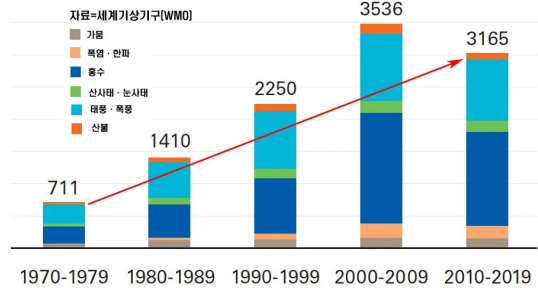
4. 기후위기와 자연 재난

빙하 소실로 인한 해수면 상승은 침식, 홍수 및 토사 재해(산사태 등) 등의 발생을 촉진할 수 있다. 해수면 상승이 직접적인 원인이 되는 해안 지역이나 강 주변의 지반 약화, 그리고 빙하와 해류 변화로 인해 기상이변으로 유발되는 강수량 증가와 생태계 변화 등 복합적 요인이 작용하여, 산사태의 위험은 더욱 높아질 수 있다.

또한, 온난화에 따른 해양의 온도 상승으로 인한 수증기량 증가가 강수량을 늘리는 데 영향을 미치고 있으며 해양의 온도 상승과 해빙의 녹음으로 인한 해양 밀도의 변화가 해류의 방향과 강도를 바꾸어 강수량에 영향을 주기도 한다. 강수량이 많아지는 것은 해수면 온도가 올라가면서 햇빛으로 증발하는 수증기량이 늘기 때문이다. 지구의 70%는 바다이기 때문에 바닷물이 뜨거워지면 지구 기온도 올라가게 된다. 해류 변화는 장마전선과 태풍과도 상호작용하여 강수량을 크게 증가시키며, 이는 홍수와 산사태와 같은 기상 이변을 촉발할 수 있다.

WMO의 재난 통계 자료를 분석한 결과에 따르면, 1970년부터 2019년까지 전 세계에서 발생한 자연재해는 1만1072건으로 이 가운데 1970년대에는 711건이 발생한 반면, 2000년~2009년에는 3,536건으로 다섯 배로 늘어났다(그림 6). 하지만 1970년대와 1980년대는 사망자가 각각 55만 6천 명과 66만 7천 명이었으나, 1990년대와 2000년대에는 절반 가까이 줄어들었다. 특히 2010년대 들어서는 사망자 수가 18만 5천 명으로 감소해 1970년대와 1980년대의 3분의 1 수준으로 낮아진 것으로 나타났다(WMO, 2021).

<그림 6> 전 세계 재해 발생 건수



출처: <https://www.hani.co.kr/arti/society/environment/>

이렇듯, 전 세계 재해 발생 수는 4~5배 증가한 반면, 사망자 수는 3분의 1 수준으로 줄어든 것과 관련하여 WMO는 조기 경보의 도입과 운영에 따른 결과라고 밝혔다. 특히, 재난 피해를 방지하는 수단에는 예측력과 관리 능력에 있으며, 기술의 발달로 열대성 저기압(태풍·허리케인 등)의 경로를 높은 수준의 정확도로 사흘 전에 예측할 수 있게 되었고, 24시간 전에 경보를 발령하면 피해를 30% 줄일 수 있음을 강조하였다.

그러나 특히 재해에 취약했던 아시아의 WMO 회원국 가운데 약 80%가 자연재해를 막기 위한 기후 서비스를 제공하긴 했으나 지역 특성에 맞게 위험관리를 할 수 있는 서비스를 제공한 나라는 절반에 미치지 않는다고 어느 나라와 지역도 소외되지 않도록 기후 조기경보를 위한 투자는 계속되어야 한다고 강조하고 있다.

5. 국내외 대응 방안

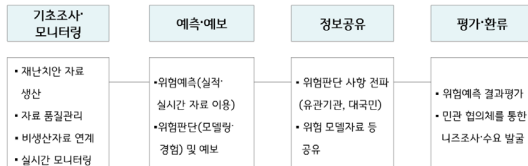
일반적으로 대규모 인프라 시설을 통한 관리가 어려운 국가에서는 그림 7과 같은 조기 위험 예측과 경보 발령과 같은 비구조적인 방법으로 자연 재난을 관리하는 것이 매우 중요하다. 무엇보다 이를 통해 인명 피해를 최소화하는 노력을 기울여야 한다.

특히, KOICA의 개발협력국들은 재해대응 인프라가 미흡한 상황이며 EWS(Early Warning System)와 같은 기초 인프라를 통한 자연 재난 대비가 쉽지 않은 상황이다. 그리고 지역사회 기후재해대응과 적응력 강화를 위해서는 밀착형 및 현안 해결형 자연 재난 관리가 필요하지만 이 모든 것의 첫걸음인 기초 조사와 양질의 자료 획득 또한 쉽지 않다.

우리나라에서도 각종 재난에 대한 조기경보시스템이 갖춰지고 작동하면서 인명피해가 크게 줄었다. 우리나라 정부는 1950년 태풍 '사라(SARAH)'를 계기로 경제기획원 산하에 국토건설청을 신설하고 '하천법'을 제정하는 등 자연 재난 정책의 토대를 마련하였다. 홍수의 경우, 홍수통제소 출범 이후 홍수예측시스템의 정확도가 크게 향상되었다. 무엇보다 첨단 기상 예측 기술과 실시간 수위 모니터링 시스템을 도입하여 홍수 발생 가능성을 사전에 예측

할 수 있는 능력이 강화되었고, 이를 통해 홍수 발생 전 경고를 발령할 수 있어 피해를 최소화 할 수 있었다. 이러한 사실은 양질의 기상수문 자료를 토대로 분석하여 경보 발령할 수 있는 조기경보시스템이 매우 중요하다는 것을 반증한다.

〈그림 7〉 자연재난 관리 방안



출처 : 강원대학교 성장현 교수 작성

더불어 위성을 비롯한 원격탐사 기술은 지구의 표면을 실시간으로 촬영하고 데이터를 수집하는 장비로써 위성을 통해 토사재해를 모니터링하는 방법이다. 이는 지구 표면 변화를 추적하고, 지반 이동, 산사태 및 침식 등을 감지하는 데 사용될 수 있다. 예를 들어 SAR(Synthetic Aperture Radar) 위성은 지반 변형을 모니터링하는데 효과적인 것으로 알려져 있다. 특히 비구름 상태에서도 지구 표면 관찰이 가능하여 지면의 미세한 변화도 감지할 수 있어 산사태나 토사재해 발생 가능성을 예측할 수 있다. SMAP(Soil Moisture Active Passive) 위성은 지구의 토양 수분을 모니터링하여 가뭄이나 과도한 강수로 인한 토사재해 위험도 예측할 수 있다.

또한, 항공 사진과 드론은 세부적인 지역 모니터링을 위해 유용하게 사용된다. 항공 사진은 고해상도의 항공 사진을 촬영하여 특정 지역에서의 지형 변화를 감지하고 산사태나 침식의 여부를 판단할 수 있다. 상대적으로 드론은 저고도에서 정밀한 촬영이 가능하며 실시간으로 산사태나 토사재해 발생 직후의 상황을 모니터링하고 위험 지역을 빠르게 파악할 수 있는 장점이 있어 드론을 이용한 3D 모델링은 사고 지역의 지형 변화를 분석하는 데 유용하다. 이러한 원격탐사 기술을 통한 기상 자료, 위성 이미지 자료 및 센서 데이터의 빅데이터 분석을 통해 의미 있는 정보를 추출하고 학습을 통한 인공지능(AI, Artificial Intelligence) 모형을 구축할 수 있다. 이와 같은 기술들을 통해 자연 재난에 대한 예측 정확도가 개선되며 신속한 경보 발령이 가능해질 것으로 예상된다.

6. 제언사항 및 KOICA 합의

이러한 기후변화에 따른 전지구적 위기를 겪고 있는 국제사회는 다양한 물과 관련된 재난 대응 방안을 이행하고 있다. 해수면 상승에 따른 침수범람, 해안선 침식, 홍수 등은 이미 여러 개발협력국에서 빈번하게 등장하고 있어 여러 공여기관들은 기후변화 위기 대응을 위한 사업을 확대하여 실시하는 추세이다.

그러나 2022년 파키스탄에서 수백만 명의 이재민이 발생한 대홍수 이후, 국제사회는 복구 활동을 위해 100억 달러 이상을 지원하기로 약속했으나 이 원조의 대부분이 무상원조가 아닌 유상원조로 분배가 되어 파키스탄의 부채 부담은 사실 더욱 가중되고 있다. 또한 개발협력국가들의 30년 넘는 지지 끝에 약 7억 달러의 초기 자본으로 설립된 기후 손실 및 피해 기금(Loss and Damage Fund)은 선진국들이 기후변화 영향을 받는 국가에 재정적 지원을 제공하는 것을 목표로 하고 있지만 소규모 고위험 국가들 사이에서는 기금 자원의 적절성 여부에 따른 지연 가능성에 대해 우려하고 있는 상황이기도 하다.

이에 대한민국 대표 무상 원조기관인 KOICA는 개발협력국들의 실제적인 문제 해결을 위한 재해대응 사업을 확대할 필요성이 크다. 또한, 산악지형의 자연환경을 가진 방글라데시, 네팔, 중앙아시아 등의 국가들은 해빙수로 인한 홍수 및 산사태 재해까지 경험하고 있어 이를 위한 재해 대응 수요가 증가하고 있다.

그간 다소 주춤했던 물 관련 재해대응 및 관리 사업을 보다 확대하고 CP(Country Plan) 및 지역 전략 주요 분야에 포함되지 않아 발굴 기획이 되지 않았던 국가를 대상으로 적극적이고 명확한 문제분석을 통해 향후 물 관련 재해관리 사업은 다양하게 실행될 필요성이 있다. 또한 자연재해를 대비하기 위한 인프라 지원과 더불어 지역 사회의 적응력과 회복력을 강화하기 위한 프로그램은 KOICA의 물 분야 사업에서 최우선 순위로 삼아야 한다.

기후변화는 우리 모두의 문제이며 나아가 국제적인 협력과 국가 및 지역사회 차원의 대책이 마련된다면 보다 안전하고 지속가능한 미래를 기대해 볼 수 있을 것이다.

KOICA 기후환경·경제개발팀

[참고문헌]

- World Meteorological Association. 2021. WMO atlas of mortality and economic losses from weather, climate and water extremes (1970-2019). WMO Rep, 90.
- World Meteorological Association. 2024. State of the Climate in Asia 2023.
- Financial Times. Pakistan's floods recovery 'test case' leaves millions still in tents. 2024. 10. 21. 발행 기사.
- Financial Times. Smaller nations fear delays in climate loss and damage funding. 2024. 11. 11. 발행 기사.