Check for updates

Journal of Climate Change Research 2026, Vol. 17, No. 2, pp. 281~295
DOI: https://doi.org/10.15531/KSCCR.2026.17.2.281

# 기후변화에 따른 국립공원 통제일수 전망

황보정도* · 김태린**†
*국립공원공단 재난안전처 과장, **Global Sustainable Tourism Council, Futures Lab, Senior Research Specialist

# Projecting national park closure days in response to climate change impacts

HwangBo, JungDo* and Kim, Taelyn**†
*Manager, Disaster Safety Division, Korea National Park Service, Gangwon, Korea
**Senior Research Specialist, Futures Lab, Global Sustainable Tourism Council, Washington, D.C., USA

## ABSTRACT

This study aims to project the number of trail closure days in 18 mountainous national parks across South Korea based on climate change scenarios. Using SSP2-4.5 (intermediate scenario) and SSP5-8.5 (high-emission scenario), closure days caused by heavy rainfall, heavy snow, heatwaves, and cold waves were analyzed for the period from 2026 to 2100. Under SSP2-4.5, rainfall-induced closures gradually increased or remained steady, whereas SSP5-8.5 showed a more pronounced long-term increase. Snow-related closures remained constant under SSP2-4.5 but showed a mid-term rise followed by a slight decrease under SSP5-8.5, ultimately resulting in a net increase. Heatwave-induced closures increased under both scenarios, with a significantly sharper rise under SSP5-8.5, emphasizing the urgency of climate mitigation. Cold wave-related closures decreased overall, with a steeper decline under SSP5-8.5, indicating differentiated impacts depending on the climate pathway. Among the four climate hazards, heatwaves had the most notable influence. The average number of closure days due to heatwaves was projected to be 8.9, 13.8, and 16.4 days for the periods 2026 – 2050, 2051 – 2075, and 2076 – 2100 under SSP2-4.5, and 10, 22, and 42.8 days under SSP5-8.5, respectively. These findings highlight the need for proactive management strategies, including the establishment of preemptive closure criteria to prevent heat-related casualties. Additionally, as precipitation patterns show increasing variability rather than a steady rise, enhancing early warning systems and disaster infrastructure becomes essential. This study provides quantitative insights into climate-driven disaster risks, offering practical baseline data for scientific trail management, early warning improvements, and visitor safety enhancement in national parks.

*Key words : Climate Change, Korea National Parks, Trail Closure Days, Disaster Management, Heavy Rainfall, Heavy Snowfall, Heatwaves, Cold Waves*

## 1. 서론

기후 문제의 심각성과 긴급성을 강조하기 위해 '기후변화'라는 용어보다 '기후위기'라는 용어가 점차 더 많이 사용되고 있으며, 2019년 5월 7일 가디언(The Guardian) 기사에서는 153개국의 11,000명 이상의 과학자들이 기후 비상사태를 선언하며, 즉각적이고 대규모의 행동이 없을 경우 인류가 "말할 수 없는 고통"을 겪을 것이라고 경고했다고 보도하였다(Carrington, 2019). 국제기구, 각국 정부, 학계 및 연구기관 등 여러 국가와 기관에서 기후변화와 기후위기에 대비하기 위한 노력을 하고 있으나, 실제 이행 단계에서는 제도적·현실적 제약으로 인해 많은 어려움에 직면하고 있다. 최근 지속되는 기온 상승, 극단적 기후현상 등은 이러한 노력의 성과가 아직 충분치 않음을 보

†Corresponding author : skimtheory@gmail.com (Global Sustainable Tourism Council, 1763 Columbia Rd NW, Washington, D.C., USA) ORCID 황보정도 0009-0003-6911-687X 김태린 0000-0003-2427-2636

Received: July 16, 2025 / Revised: November 12, 2025 1st, December 14, 2025 2nd / Accepted: March 16, 2026

여준다. 기후변화를 아직 오지 않은 미래의 잠재적 위험으로 보기보다는 이미 현실로 나타나고 있는 당면 과제로 직시할 필요가 있다.

국립공원 역시 이러한 기후변화의 영향에서 예외가 아니다. 이러한 영향은 아고산대에 분포하는 구상나무(Abies koreana)의 개체수 감소를 파악하기 위한 장기 모니터링에서 잘 드러난다. 최근 고산 지역에서는 평균기온 상승, 강수량 변화, 병해충의 북상 등 다양한 기후 스트레스 요인으로 인한 구상나무의 고사율이 증가하고 있는지를 확인하고 있다. 또한, 기후변화에 기인한 건조한 기상조건과 강풍의 결합으로 발생한 산불은 더욱 심각하고 직접적인 피해를 초래하고 있다. 1998년 지리산 집중호우는 장마가 끝난 뒤에 발생한 '게릴라 호우'의 대표적 사례로 당시 27명이 사망하고, 재산피해는 6,248백만원에 달했다(Korea National Park Service, 2000). 이 사건을 계기로 국립공원공단은 기상청에서 기상특보가 발령되면 탐방객의 안전을 위해 탐방로의 출입을 통제하기 시작하였다. 기상특보에 따른 출입 제한 조치 시행 이후 큰 인명피해는 발생하지 않았으나, 최근 국지성 집중호우의 발생 빈도와 강도가 증가하고 있어 안전에 관한 우려가 커지고 있다. 실제로 국립공원 내 호우특보 일수는 2019년 57일에서 2023년 97일로 증가하였고, 같은 기간 일최대강수량도 332.9 mm에서 372.8 mm로 증가하였다(Korea National Park Service, 2024). 돌발적으로 발생하는 국지성 집중호우로 인한 인명피해를 방지하기 위해 관련 연구와 이를 기반으로 한 선제적 대책 마련이 필요하다. Yoo et al. (2024)의 연구에 따르면, 기후변화에 따른 생물종 분포 변화는 지역별 지형 및 기후 조건에 따라 상이한 양상으로 나타나며, 이에 따라 도시 지역의 일반적인 기후 특성을 국립공원과 같은 보호지역에 동일하게 적용하는 것은 적절하지 않다는 점을 시사하고 있다. Kim and Kim (2016)은 「국립공원의 기후변화 취약성 평가」에서 국내 국립공원이 기후변화에 대해 높은 취약성을 보이며, 공원별로 그 영향 양상이 상이하게 나타난다고 지적하였다. 이 연구는 2050년대에 월악산, 주왕산, 지리산 등에서 폭우의 빈도가 증가할 것으로 전망하며, 기온 상승과 강수 패턴의 변화가 생태계뿐만 아니라 탐방 환경에도 영향을 미칠 수 있음을 강조하였다. 이에 따라 공원별로 지역 맞춤형 대응 전략의 수립이 필요하다는 점을 제기하였다. 그러나 공원별 세부적인 관리 방안을 제시하는 데는 부족한 부분이 있다. 특히 기후변화에 따른 폭우 빈도의 증가로 탐방로 통제일수가 증가할 것으로 예상되나, 이에 따른 정량적 분석은 미흡하였다.

본 연구는 기후변화 시나리오를 기반으로 2026년부터 2100년까지 국립공원 탐방로의 통제일수를 전망하는 것을 목표로 한다. 집중호우, 폭염, 한파 등 다양한 기후 요인을 종합적으로 고려하여 통제일수 변화를 분석하고, 실질적인 재난 대응 체계 설계에 기여하고자 한다. 또한, 강수 예측자료를 적설량으로 환산해 대설 기준 초과일수를 도출함으로써, 기후변화에 따른 극단적 기상이 탐방로 운영에 미치는 영향을 예측하고자 한다. 이를 통해 국립공원의 재난 대응과 탐방로 안전관리 체계 구축을 위한 기초자료를 제공하고자 한다.

## 2. 문헌 검토

### 2.1. 국립공원의 기상 관련 통제 기준

국립공원의 탐방로 통제 기준은 기상특보와 다양한 재난 상황에 따라 설정되어 있다. 첫째, 호우, 대설, 태풍 등 기상특보가 발효되면 각 공원사무소는 지정된 탐방로를 통제하며, 경우에 따라 예비특보 단계에서도 사무소장의 판단에 따라 사전 통제가 가능하다. 둘째, 지진 발생 시 재난 현장조치 행동 매뉴얼에 따라 해당 지역 탐방로의 출입이 제한된다. 셋째, 산불이 발생하거나 위험 징후가 감지될 경우에는 즉각적으로 탐방로가 통제된다. 넷째, 산불방지대책 기간 중 산불 예방을 위해 공원사무소별로 특정 탐방로가 통제된다. 다섯째, 강풍이나 한파 같은 자연재난 및 감염병과 같은 사회재난 발생 시 현장 상황에 따라 탐방로 통제가 이루어질 수 있다. 마지막으로, 탐방객 안전사고 발생 시에도 사무소장은 탐방객 안전을 위해 출입을 제한할 수 있으며, 한파특보의 경우에는 탐방객의 복장 및 안전장비 착용 여부에 따라 개별 통제가 가능하다(Korea National Park Service, 2025a).

본 연구에서 국립공원의 통제일수 산정을 위해 국립공원공단에서 통제 기록을 확인하였다. 국립공원공단에서 발표하는 '국립공원 기본통계' 자료에 따르면 탐방로 통제에 대한 직접적인 기록은 확인되지 않으나, 국립공원 내 특보 발효 추이를 통해 통제일수를 간접적으로 산정하였다. 최근 5년간(2020년 ~ 2024년) 특보 발효 추이 자료에서 2024년 국립공원 기상특보 발효일수는 127일로, 전년 대비 3%(4일) 감소하였고 연평균 4%씩 증가 추세이다(Korea National Park Service, 2025b). 호우, 태풍, 대설 이외의 통제일수를 제공하지는 않으며, 같은 날 여러 공

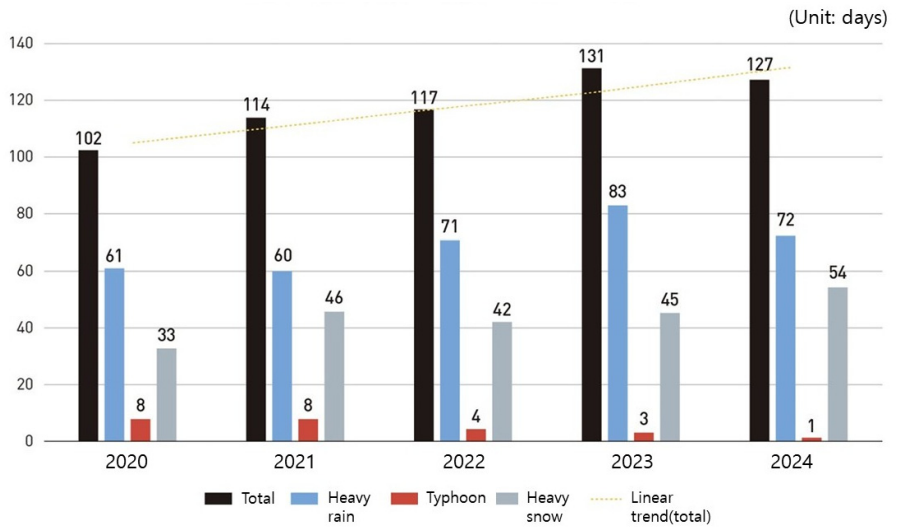


Fig. 1. Recent trend in special weather advisories (2020–2024)

Table 1. Meteorological warning criteria (Korea Meteorological Administration)

| Type | Advisory | Warning |
|---|---|---|
| Heavy Rain | When the accumulated rainfall over 3 hours is expected to exceed 60mm, or when the accumulated rainfall over 12 hours is expected to exceed 110 mm | When the accumulated rainfall over 3 hours is expected to exceed 90mm, or when the accumulated rainfall over 12 hours is expected to exceed 180 mm |
| Heavy Snow | When the snow accumulation over 24 hours is expected to exceed 5 cm | When the snow accumulation over 24 hours is expected to exceed 20 cm. However, in mountainous areas, when the snow accumulation over 24 hours is expected to exceed 30cm |
| Cold Wave | Between October and April, when any of the following occurs:<br>① When the morning low temperature is expected to drop by more than 10°C compared to the previous day, and is expected to be 3°C or lower, and more than 3°C below the normal value<br>② When the morning low temperature is expected to be below -12°C for more than two days<br>③ When a severe cold wave is expected to cause significant damage | Between October and April, when any of the following occurs:<br>① When the morning low temperature is expected to drop by more than 15°C compared to the previous day, and is expected to be 3°C or lower, and more than 3°C below the normal value<br>② When the morning low temperature is expected to be below -15°C for more than two days<br>③ When a sudden cold wave is expected to cause significant damage over a wide area |
| Heat Wave | When a heat wave is expected to cause any of the following:<br>① When the daily maximum perceived temperature is expected to exceed 33°C for more than two days<br>② When a rapid increase in perceived temperature or prolonged heat wave is expected to cause significant damage | When a heat wave is expected to cause any of the following:<br>① When the daily maximum perceived temperature is expected to exceed 35°C for more than two days<br>② When a rapid increase in perceived temperature or prolonged heat wave is expected to cause significant damage over a wide area |

원에서 통제하더라도 1일로 산정되는 점에서 공원별 통제일수의 확인도 어려웠다. 이에 본 연구에서 호우, 대설, 폭염, 한파에 따른 국립공원 탐방로 통제 기준은 기상청의 기상특보 발효 기준을 준용하여 설정하였다.

### 2.2. 기후변화의 국립공원 영향

기후변화에 따른 강수량, 기온 변화가 국립공원에 미치는 영향은 매우 중요하다. 과거 강수량 분석에 따르면, 1980년부터 2009년까지 연평균 강수일수에는 유의미한

변화가 없으나, 집중호우의 발생 횟수는 증가하였다(Kim, 2011). 시간당 50 mm 이상의 집중호우가 1973년부터 2009년까지 발생한 횟수 대비 2010년부터 2019년까지 발생한 횟수는 1.5배 증가하였다(Kim et al., 2020). 또한, 일 최대강수량은 근미래(2020 ~ 2049년) 146.2 mm, 중미래(2050 ~ 2079년) 165.2 mm, 먼미래(2080 ~ 2099년) 182.9 mm로 증가할 것으로 전망된다(Korea Environment Institute, 2023). 대설과 관련된 연구에서는 북극권의 기온 상승이 제트 기류를 약화시켜, 북극의 찬 공기가 남쪽으로 내려오면서 북미와 유럽에서 폭설이 발생할 가능성이 높아지고 있다는 분석이 있다(Cohen et al., 2014). 일본 동해안과 캐나다 동부 해안 지역에서는 대기 중 수증기량 증가와 기온 상승이 결합되어 폭설이 강화되는 경향이 나타난다(O'Gorman, 2014). 한편, 엘니뇨와 같은 대기-해양 상호작용 현상도 특정 지역의 대설 패턴에 영향을 미치고 있는데, 엘니뇨는 미국 남부 지역에서 강수량을 증가시켜 겨울철 폭설 발생 가능성을 높일 수 있다(Wang et al., 2017). 반면, 겨울철 이용 가능 기간이 단축될 가능성도 있다는 연구 결과가 있으며, 대설 재해는 시기별로 발생 지역과 유형이 변화하는 경향을 보였으며, 기후변화에 따른 취약성이 확대되는 양상이 나타난다고 하였다(Cheon, 2017). 기후변화는 이상고온 현상의 출현 빈도와 강도를 급격히 증가시키고 있으며 기온 상승에 따른 극한 기상현상이 전 세계적으로 관측되고 있다. 다수의 연구자들은 온실가스 농도 증가가 지구 온난화를 가속화하고 있다고 보고하고 있으며, 특히 이상고온 발생이 증가하는 추세 속에서 주간 기온 상승과 열대야 현상의 결합은 이상고온 현상을 더욱 심화시키는 요인으로 작용하고 있다(IPCC, 2021). 1954 ~ 2016년 연평균 최고기온은 도시지역 1.29℃, 비도시지역 0.43℃ 상승하고, 연평균 최저기온은 도시지역 1.8℃, 비도시지역 0.8℃ 상승하는 등 지역적 차이가 보였으나, 강수량의 경우 도시지역과 비도시지역 간 유의미한 상관관계를 보이지 않았다(Yoon et al., 2018). 국립공원 탐방객을 대상으로 기후변화와 산림휴양수요량과의 관계를 파악한 연구에서는 기온이 6℃까지 상승할 경우 탐방객이 증가할 것으로 예측되었으나, 7℃부터는 탐방객이 감소할 것으로 예측되었다(Han, 2009). Kang et al. (2024)은 기상 요인이 국립공원 탐방 수요에 미치는 영향을 계량적으로 분석하였으며, 단풍 시기에는 강수량이 탐방 수요에 유의미한 영향을 미쳤고, 비단풍 시기에는 강수량과 기온이 탐방 수요에 영향을 주었다고 보고하였다. 이러한 연구들은 기후변화가 국립공원의 탐방 수요, 탐방로 운영, 안전 관리에 심각한 영향을 미친다는 점을 명확히 보여주고 있으며, 향후 기후변화에 따른 국립공원의 관리 방안을 마련하기 위한 중요한 기초 자료가 된다.

## 3. 연구 방법

### 3.1. 대상지

본 연구의 공간적 범위는 전국 23개 국립공원 중 제주특별자치도가 별도로 관리하는 한라산국립공원을 제외한 22개 국립공원 중에서 산악형 18개, 해상·해안형 3개, 사적형 1개로 분류하고, 이에 산악형 국립공원 18개만을 대상으로 분석을 진행하였다. 산악형 국립공원으로 한정한 이유는 현재 국립공원 통제가 탐방로 입구에서 시행되고 있으며, 산악형 국립공원에서는 이러한 통제가 실질적으로 가능하기 때문이다. 반면, 해상·해안형 국립공원은 일부 산림지역을 제외하면 탐방로 입구를 명확히 규정하기 어려워 통제 기준 설정에 한계가 있다.

### 3.2. 자료수집 및 분석 방법

통제일수 산정에는 기상청에서 제공하는 국가 기후변화 표준 시나리오 자료를 활용하였으며, 중간 단계인 SSP2-4.5와 극한 기후변화를 가정한 SSP5-8.5 시나리오 간의 차이를 비교하였다. SSP2-4.5 시나리오는 중간 수준의 온실가스 감축 경로로, 현재 국가 탄소중립 계획 및 국제적 정책 경로를 가장 잘 반영하고 있고, SSP5-8.5는 가장 극한의 기후 시나리오로 재난 리스크 평가에서 최악 조건을 평가하기 위해 선정하였다. 두 시나리오 자료에서 각 공원별로 주요 정상(주봉) 좌표에 가장 인접한 격자를 선정하여 해당 격자의 자료를 분석에 활용하였다.

본 연구에서는 통제 기준으로 호우, 대설, 폭염, 한파 등 자연재난을 중심으로 설정하였으며, 국립공원에서 발생할 수 있는 산불과 같은 사회재난은 인위적인 요인에 의한 것으로 간주하여 제외하였다. 기후변화에 따른 예측변수로는 기온, 강수량, 적설량을 사용하였으며, 시나리오 자료에 적설량이 포함되어 있지 않아 강수량을 적설량으로 환산하여 사용하였다.

통제일수 산정 절차는 다음과 같다. 첫째, 호우, 대설, 폭염, 한파의 일정 기준에 따라 국립공원을 통제하는지 여부를 확인하고, 둘째, 현재 통제 기준이 통제일수 산정 기준으로 사용 가능한지를 판단한다. 셋째, 기후변화 시나리오 자료에서 본 연구에 필요한 자료 제공 여부를 판단

Table 2. List of study areas

| No. | National Park | No. | National Park |
|---|---|---|---|
| 1 | Jirisan National Park | 10 | Chiaksan National Park |
| 2 | Gyeryongsan National Park | 11 | Woraksan National Park |
| 3 | Seoraksan National Park | 12 | Bukhansan National Park |
| 4 | Sokrisan National Park | 13 | Sobeksan National Park |
| 5 | Naejangsan National Park | 14 | Wolchulsan National Park |
| 6 | Gayasan National Park | 15 | Byeonsanbando National Park |
| 7 | Deogyusan National Park | 16 | Mudeungsan National Park |
| 8 | Odaesan National Park | 17 | Taebaeksan National Park |
| 9 | Juwangsan National Park | 18 | Palgongsan National Park |

Fig. 2. Location of the study areas

하여, 각 조건에 따라 선행연구분석, 통제일수 산정 기준 설정 및 확정, 제공 자료를 통해 환산하는 절차를 거쳤다. 예를 들어 현재 통제 기준이 있고, 현재 통제 기준을 통제일수 산정기준으로 사용 가능하고, 기후변화 시나리오 자료를 제공하지 않는 대설의 경우 첫 번째 조건과 두 번째 조건을 충족하므로 세 번째 조건을 적용하기 위해 강우량 자료를 사용하여 적설량으로 환산하여 탐방로 통제일수를 산정하였다.

통제일수 산정 절차의 첫 번째 단계로, 폭염과 한파처럼 현재 통제 기준이 없는 경우에는 선행연구를 바탕으로 기준치를 설정하였다. 폭염의 경우 Kim et al. (2006)은 서울 지역에서 폭염으로 인한 초과 사망자가 급증하는 임계온도를 31.2℃로 제시하였고, Kim et al. (2014)은 일 최고기온이 33℃를 초과하면 도시와 농촌 모두에서 사망자가 급증한다고 보고하였다. 한파의 경우, Jeon and Cho (2015)는 전반적으로 기온이 상승하는 추세임에도 겨울철 한파 발생 빈도는 증가하고 있다고 분석하였다. 한파가 심혈관 질환 및 질병 발생률과 연관이 있다는 연구는 다수 있지만, 직접적인 사망의 원인으로 확정된 연구는 부족하므로, 본 연구에서는 기상청의 한파주의보 기준인 최저기온 −12℃를 임계온도로 설정하였다. 이러한 선행연구를 종합하여, 본 연구에서는 폭염은 일 최고기온 33℃ 이상, 한파는 최저기온 −12℃를 기준으로 하여 통제일수를 산정하였다.

통제일수 산정 절차의 두 번째 단계로, 현재 통제 기준을 통제일수 산정 기준으로 사용 가능한지를 확인하였다. 대설의 경우는 24시간 적설량이 5 cm 이상일 때를 통제일수 산정 기준으로 확정할 수 있었으나, 호우의 경우 현재 통제 기준이 3시간 누적강우량이 60 mm 이상이거나 12시간 누적강우량이 110 mm 이상으로 되어 있어 통제일수 산정 기준으로 확정하기 어려웠다. 이에 호우의 통제 기준은 행정안전부 기준에서 일일 강수량 80 mm 이상이 '집중호우'로 분류되는 점, 기상청에서도 '강한 비' 기준으로 80 mm 이상 강수 시 기상특보와 안전 조치 권고가 이루어지는 점, 기후변화 시나리오 자료는 일 단위 자료를 제공하므로 시간 단위 분석에 한계가 있는 점을 고려하여, 본 연구에서는 일 강수량 80 mm 이상을 탐방로 통제일수 산정 기준으로 설정하였다.

통제일수 산정 절차의 세 번째 단계로, 대설의 경우 적설량 자료가 제공되지 않아 강수량을 바탕으로 적설량을 환산하였다. 환산식은 Lee et al. (2005)이 Ratkowsky (1990)의 비선형 회귀모형을 이용하여 제시한 물당량비(SR, Snow Rate=Snow Depth /Precipitation Depth)를 사용하였는데, 그 산정식은 식 (1)과 같다.

$$SR = \frac{a}{1+\exp[\frac{T-b}{c}]} \quad (1)$$

여기서 a, b, c 값은 Lee et al. (2005)이 제시한 일반적인 강설 사례(1 mm/3 hour ≤ PR)에 대한 값인 16.8, 0.2456, 0.5604를 사용하였고, T는 해당 강설이 발생한 시점의 지상기온(℃)이다. 이와 같은 산정식을 이용하여 Joh et al. (2011)은 최저 온도 경계값을 강수량에 보정하여 지역별 물당량을 제시하였고, 본 연구에서는 이 중 각 국립

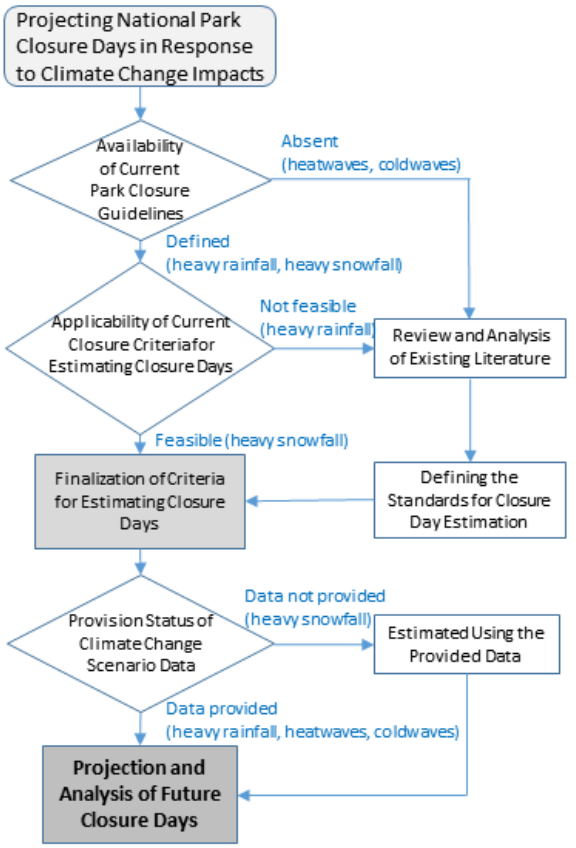


Fig. 3. Research procedure

Table 3. Criteria for calculating control days

| Category | Heavy Rain | Heavy Snow | Heat Wave | Cold Wave |
|---|---|---|---|---|
| Current Control Criteria | Heavy Rain Advisory issued (When the accumulated rainfall over 3 hours is expected to exceed 60mm, or when the accumulated rainfall over 12 hours is expected to exceed 110 mm) | Heavy Snow Advisory issued (When the snow accumulation over 24 hours is expected to exceed 5 cm) | Decided based on comprehensive judgment considering the situation on-site | Decided based on comprehensive judgment considering the situation on-site |
| Preceding Research Analysis | Considered heavy rain when the accumulated rainfall exceeds 80 mm | - | When the daily maximum temperature exceeds 33°C, fatalities rise sharply | When the minimum temperature is expected to be below -12°C for more than two days according to the weather advisory |
| Control Days Calculation Criteria | Number of days with daily rainfall exceeding 80 mm | Number of days with snow accumulation exceeding 5 cm | Number of days with daily maximum temperature exceeding 33°C | umber of days with daily minimum temperature below -12°C |

공원과 가장 인접한 지역의 물당량비를 적용하였다.

## 4. 연구 결과

### 4.1. 호우로 인한 통제일수 전망

전체 국립공원의 호우로 인한 통제일수 평균은 SSP2-4.5 시나리오에서 2026~2050년 3.1일, 2051~2075년 3.5일, 2076~2100년 3.5일로 점차 증가하거나 일정 수준을 유지하는 경향을 보였다. 반면, SSP5-8.5 시나리오에서는 같은 기간 각각 2.8일, 3.1일, 3.6일로 나타나, 고온·고배출 경로 하에서 통제일수가 장기적으로 더 큰 폭으로 증가하는 양상을 보였다. 공원별로는 현재와 2026~2050년 기간을 비교했을 때 속리산을 포함한 13개 공원에서는 통제일수가 증가했으며, 가야산을 포함한 5개 공원에서는 감소하였다. 현재와 2076~2100년을 비교한 결과, 가야산을 제외한 모든 공원에서 통제일수가 증가하였으며, 월악산에서 증가 일수가 1.9일로 가장 크게 나타났다. 중간 단계의 기후변화를 가정한 SSP2-4.5 시나리오에서는 2026~2050년 동안 일부 국립공원에서 SSP5-8.5 시나리오보다 상대적으로 통제 증가 일수가 더 크게 나타나기도 하였으나, 이는 강수량 자료의 변동성이 크게 나타나는 특성이 반영된 결과로 해석된다.

### 4.2. 대설로 인한 통제일수 전망

전체 국립공원의 대설로 인한 통제일수 평균은 SSP2-4.5 시나리오의 경우, 2026~2050년 22.2일, 2051~2075년 22일, 2076~2100년 22일로 일정 수준을 유지하는 경향을 보였다. 한편, SSP5-8.5 시나리오에서는 같은 기간 각각 20.3일, 23.9일, 22.5일로 나타나, 고온·고배출 경로 하에서 통제일수가 중기적으로 증가한 후 다소 감소하는 양상을 보였다. 공원별로는 현재와 2026~2050년을 비교하였을 때 모든 공원에서 통제일수가 증가하였고, 변

Table 4. Control days due to heavy rain

(Unit: Days)

| Park Name | SSP2-4.5 | | | | | | | SSP5-8.5 | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | The present (a) | 2026 ~ 2050 (b) | 2051 ~ 2075 (c) | 2076 ~ 2100 (d) | Number of days of increase | | | The present (a) | 2026 ~ 2050 (b) | 2051 ~ 2075 (c) | 2076 ~ 2100 (d) | Number of days of increase | | |
| | | | | | (b-a) | (c-a) | (d-a) | | | | | (b-a) | (c-a) | (d-a) |
| Jiri | 5.6 | 6.2 | 6.4 | 6.9 | 0.6 | 0.8 | 1.3 | 5.6 | 5.7 | 6.7 | 7.1 | 0.1 | 1.1 | 1.5 |
| Gyeryong | 0.8 | 1.4 | 1.7 | 1.7 | 0.6 | 0.9 | 0.9 | 0.8 | 1.3 | 1.4 | 1.7 | 0.5 | 0.6 | 0.9 |
| Seorak | 3.7 | 4.1 | 4.6 | 4.8 | 0.4 | 0.9 | 1.1 | 3.7 | 3.6 | 3.8 | 5.0 | -0.1 | 0.1 | 1.3 |
| Sokri | 1.8 | 2.6 | 3.1 | 2.8 | 0.8 | 1.3 | 1.0 | 1.8 | 2.7 | 2.4 | 2.9 | 0.9 | 0.6 | 1.1 |
| Naejang | 3.0 | 3.1 | 3.8 | 3.9 | 0.1 | 0.8 | 0.9 | 3.0 | 3.1 | 3.6 | 3.8 | 0.1 | 0.6 | 0.8 |
| Gaya | 4.2 | 3.8 | 4.1 | 4.3 | -0.4 | -0.1 | 0.1 | 4.2 | 3.6 | 3.9 | 4.2 | -0.6 | -0.3 | 0.0 |
| Deogyu | 2.6 | 2.6 | 2.6 | 2.5 | 0.0 | 0.0 | -0.1 | 2.6 | 2.4 | 2.5 | 2.7 | -0.2 | -0.1 | 0.1 |
| Odae | 2.5 | 3.5 | 3.4 | 3.5 | 1.0 | 0.9 | 1.0 | 2.5 | 2.7 | 3.1 | 3.6 | 0.2 | 0.6 | 1.1 |
| Juwang | 1.4 | 1.9 | 2.3 | 2.4 | 0.5 | 0.9 | 1.0 | 1.4 | 1.8 | 2.0 | 2.4 | 0.4 | 0.6 | 1.0 |
| Chiak | 2.7 | 3.7 | 3.6 | 3.4 | 1.0 | 0.9 | 0.7 | 2.7 | 3.0 | 3.1 | 3.5 | 0.3 | 0.4 | 0.8 |
| Worak | 1.6 | 3.0 | 3.5 | 3.1 | 1.4 | 1.9 | 1.5 | 1.6 | 1.9 | 2.3 | 3.5 | 0.3 | 0.7 | 1.9 |
| Bukhan | 2.6 | 3.8 | 3.8 | 3.7 | 1.2 | 1.2 | 1.1 | 2.6 | 3.2 | 3.5 | 3.6 | 0.6 | 0.9 | 1.0 |
| Sobek | 3.9 | 4.3 | 5.0 | 4.7 | 0.4 | 1.1 | 0.8 | 3.9 | 3.8 | 4.3 | 5.1 | -0.1 | 0.4 | 1.2 |
| Wolchul | 2.7 | 3.4 | 4.0 | 4.4 | 0.7 | 1.3 | 1.7 | 2.7 | 3.2 | 3.7 | 4.0 | 0.5 | 1.0 | 1.3 |
| Byeonsan | 1.6 | 1.9 | 2.5 | 2.5 | 0.3 | 0.9 | 0.9 | 1.6 | 1.8 | 2.1 | 2.2 | 0.2 | 0.5 | 0.6 |
| Mudeung | 2.5 | 2.5 | 2.7 | 3.0 | 0.0 | 0.2 | 0.5 | 2.5 | 2.4 | 2.8 | 3.0 | -0.1 | 0.3 | 0.5 |
| Taebaek | 2.4 | 2.7 | 3.3 | 3.4 | 0.3 | 0.9 | 1.0 | 2.4 | 2.4 | 2.9 | 3.7 | 0.0 | 0.5 | 1.3 |
| Palgong | 2.0 | 1.7 | 1.9 | 2.0 | -0.3 | -0.1 | 0.0 | 2.0 | 2.0 | 2.2 | 2.1 | 0.0 | 0.2 | 0.1 |
| Average | **2.6** | **3.1** | **3.5** | **3.5** | **0.5** | **0.8** | **0.9** | **2.6** | **2.8** | **3.1** | **3.6** | **0.2** | **0.5** | **0.9** |

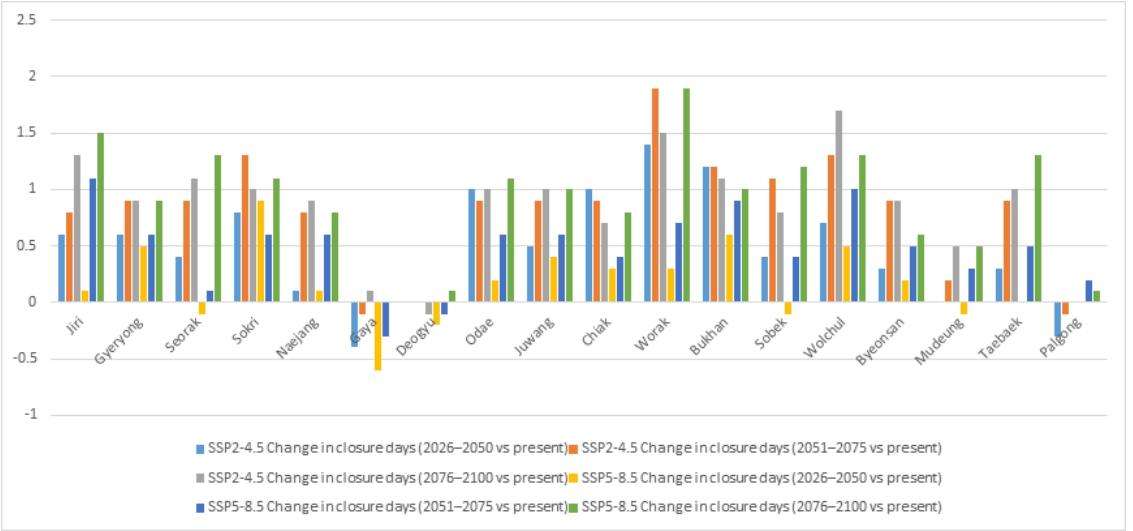


Fig. 4. Increase in the number of closure days due to heavy rainfall warnings relative to the present

Table 5. Control days due to heavy snow

(Unit: Days)

| Park Name | SSP2-4.5 | | | | | | | SSP5-8.5 | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | The present (a) | 2026 ~ 2050 (b) | 2051 ~ 2075 (c) | 2076 ~ 2100 (d) | Number of days of increase | | | The present (a) | 2026 ~ 2050 (b) | 2051 ~ 2075 (c) | 2076 ~ 2100 (d) | Number of days of increase | | |
| | | | | | (b-a) | (c-a) | (d-a) | | | | | (b-a) | (c-a) | (d-a) |
| Jiri | 18.5 | 26.6 | 25.1 | 26.6 | 8.1 | 6.6 | 8.1 | 18.5 | 25.9 | 29.5 | 26.7 | 7.4 | 11.0 | 8.2 |
| Gyeryong | 9.1 | 13.9 | 14.2 | 14.9 | 4.8 | 5.1 | 5.8 | 9.1 | 12.2 | 16.6 | 16.6 | 3.1 | 7.5 | 7.5 |
| Seorak | 9.0 | 22.5 | 22.0 | 19.6 | 13.5 | 13.0 | 10.6 | 9.0 | 16.3 | 17.9 | 16.8 | 7.3 | 8.9 | 7.8 |
| Sokri | 13.2 | 22.8 | 22.8 | 22.2 | 9.6 | 9.6 | 9.0 | 13.2 | 20.6 | 25.6 | 24.8 | 7.4 | 12.4 | 11.6 |
| Naejang | 19.9 | 28.5 | 27.9 | 27.5 | 8.6 | 8.0 | 7.6 | 19.9 | 27.2 | 31.0 | 28.0 | 7.3 | 11.1 | 8.1 |
| Gaya | 13.2 | 20.1 | 19.6 | 21.3 | 6.9 | 6.4 | 8.1 | 13.2 | 19.9 | 24.1 | 21.8 | 6.7 | 10.9 | 8.6 |
| Deogyu | 24.8 | 28.4 | 27.7 | 29.4 | 3.6 | 2.9 | 4.6 | 24.8 | 27.2 | 30.7 | 27.7 | 2.4 | 5.9 | 2.9 |
| Odae | 10.3 | 22.3 | 22.0 | 20.4 | 12.0 | 11.7 | 10.1 | 10.3 | 19.6 | 22.1 | 20.9 | 9.3 | 11.8 | 10.6 |
| Juwang | 11.5 | 17.8 | 18.0 | 17.6 | 6.3 | 6.5 | 6.1 | 11.5 | 16.8 | 20.2 | 19.2 | 5.3 | 8.7 | 7.7 |
| Chiak | 13.2 | 19.8 | 19.9 | 19.9 | 6.6 | 6.7 | 6.7 | 13.2 | 18.4 | 22.1 | 22.2 | 5.2 | 8.9 | 9.0 |
| Worak | 11.2 | 23.8 | 23.4 | 23.3 | 12.6 | 12.2 | 12.1 | 11.2 | 22.0 | 26.2 | 24.7 | 10.8 | 15.0 | 13.5 |
| Bukhan | 12.6 | 15.1 | 15.3 | 14.7 | 2.5 | 2.7 | 2.1 | 12.6 | 13.7 | 17.1 | 17.3 | 1.1 | 4.5 | 4.7 |
| Sobek | 13.2 | 23.8 | 23.3 | 22.8 | 10.6 | 10.1 | 9.6 | 13.2 | 21.9 | 25.6 | 24.2 | 8.7 | 12.4 | 11.0 |
| Wolchul | 16.6 | 26.2 | 26.6 | 27.2 | 9.6 | 10.0 | 10.6 | 16.6 | 24.6 | 28.3 | 26.4 | 8.0 | 11.7 | 9.8 |
| Byeonsan | 12.5 | 28.0 | 28.6 | 28.4 | 15.5 | 16.1 | 15.9 | 12.5 | 27.5 | 31.8 | 28.9 | 15.0 | 19.3 | 16.4 |
| Mudeung | 12.3 | 20.0 | 20.2 | 21.1 | 7.7 | 7.9 | 8.8 | 12.3 | 18.3 | 22.3 | 21.8 | 6.0 | 10.0 | 9.5 |
| Taebaek | 12.2 | 21.9 | 21.1 | 20.5 | 9.7 | 8.9 | 8.3 | 12.2 | 18.0 | 20.9 | 19.2 | 5.8 | 8.7 | 7.0 |
| Palgong | 11.7 | 17.4 | 17.4 | 17.8 | 5.7 | 5.7 | 6.1 | 11.7 | 14.5 | 18.8 | 17.8 | 2.8 | 7.1 | 6.1 |
| Average | **13.6** | **22.2** | **22.0** | **22.0** | **8.6** | **8.3** | **8.3** | **13.6** | **20.3** | **23.9** | **22.5** | **6.6** | **10.3** | **8.9** |

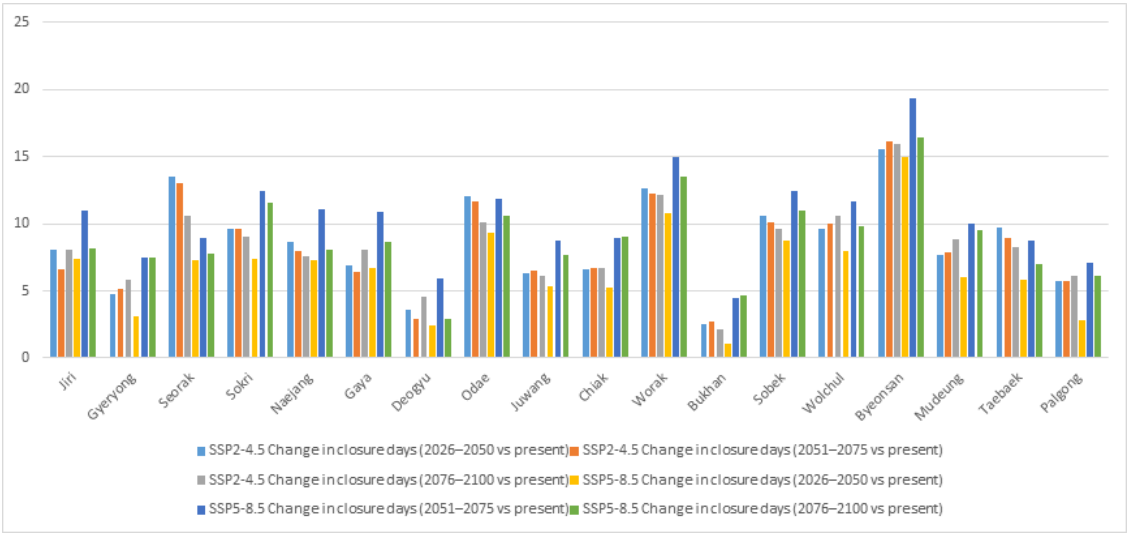


Fig. 5. Increase in the number of closure days due to heavy snow warnings relative to the present

산반도국립공원은 15일 증가하여 가장 큰 증가 폭을 보였다. 또한, 현재와 2076 ~ 2100년을 비교했을 때도 모든 공원에서 통제일수가 증가하였으나, 그 증가 폭은 2051 ~ 2075년 대비 상대적으로 작았다. 기후변화 중간 단계인 SSP2-4.5 시나리오의 경우, 현재에서 미래로 갈수록 통제일수의 차이는 크게 나타나지 않고, 증가한 상태로 일정하게 유지되는 경향을 보였다. 이는 기후변화에 따른 적설량 증가가 점차 완만해지는 추세를 반영하는 결과로 해석된다.

본 연구에서 도출된 국립공원 대설 통제일수의 미래 변화는 기존 기후연구에서 제시된 강설 특성과 정성적으로 일치하는 경향을 보인다. Choi and Kwon (2008)은 우리나라 겨울철 강수형태 변화를 분석한 연구에서 전국적으로 강설일수와 대설일수가 감소하고 강설 계절의 길이도 짧아지는 장기적 추세를 제시하였다. 또한, 이들은 동남부 해안 및 해발 800 m 이상의 태백산맥 고산지대에서는 대기순환과 지형 효과로 인해 강설이 유지되거나 국지적으로 강화될 가능성이 있음을 강조하였다. 이러한 결과는 본 연구에서 SSP5-8.5 시나리오가 중기(2051 ~ 2075년)에는 대설 통제일수가 증가하고 후기(2076 ~ 2100년)에는 다시 완화되는 양상을 보인 것과 정합적이다. 즉, 중기에는 고온·고습 조건으로 폭설 발생 가능성이 일시적으로 확대되지만, 장기적으로 기온 상승이 더욱 가속되면 강수형의 비(雨) 전환 비중이 증가하면서 대설 영향이 완화되는 기후역학적 메커니즘이 작동한 것으로 해석된다. Ha et al. (2020)은 RCP 시나리오를 이용한 미래 대설 취약성 분석에서 전국 평균 대설량 감소에 따라 취약성이 전반적으로 낮아지지만, 적설 특성 및 인구 변화 등 지역요인에 따라 일부 지역에서는 취약성이 유지되거나 증가할 수 있다고 보고하였다. Ahn et al. (2015) 역시 평균 강설량은 감소하는 반면, 특정 조건에서 강한 폭설 사건은 여전히 발생할 수 있으며 일부 지역·시기에서 상대적으로 뚜렷하게 나타날 수 있다고 제시하였다. 이러한 선행연구의 공통된 결론인, “전국 평균 감소 경향 속에서도 특정 해안·고위도·고도 지역에서는 위험이 일정 수준 유지되거나 국지적으로 증가할 수 있음”은 본 연구 결과와 일관된 방향성을 보인다.

### 4.3. 폭염으로 인한 통제일수 전망

전체 국립공원의 폭염으로 인한 통제일수 평균은 SSP2-4.5 시나리오의 경우, 2026 ~ 2050년 8.9일, 2051 ~ 2075년 13.8일, 2076 ~ 2100년 16.4일로 중탄소 시나리오에서도 점진적인 증가세가 확인되었다. 한편, SSP5-8.5 시나리오에서는 동일한 기간에 각 시기별로 10일, 22일, 42.8일로 나타나, 고온·고배출 경로 하에서 폭염으로 인한 통제일수가 급격히 증가하는 경향을 보였다. 공원별로는 현재와 2026 ~ 2050년을 비교한 결과, 모든 공원에서 통제일수가 증가하였으며, 북한산국립공원의 경우 18.4일 증가하여 가장 큰 변화를 보였다. 또한 현재와 2076 ~ 2100년을 비교하였을 때, 전 공원에서 통제일수가 증가하였고, 이는 2051 ~ 2075년 대비 증가 폭이 상당히 확대된 것으로 나타났다. 중간 수준의 기후변화를 가정한

Table 6. Control days due to heat wave

(Unit: Days)

| Park Name | SSP2-4.5 | | | | | | | SSP5-8.5 | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | The present (a) | 2026 ~ 2050 (b) | 2051 ~ 2075 (c) | 2076 ~ 2100 (d) | Number of days of increase | | | The present (a) | 2026 ~ 2050 (b) | 2051 ~ 2075 (c) | 2076 ~ 2100 (d) | Number of days of increase | | |
| | | | | | (b-a) | (c-a) | (d-a) | | | | | (b-a) | (c-a) | (d-a) |
| Jiri | 0.1 | 0.4 | 1.1 | 1.1 | 0.3 | 1.0 | 1.0 | 0.1 | 0.4 | 2.5 | 7.6 | 0.3 | 2.4 | 7.5 |
| Gyeryong | 1.7 | 7.3 | 12.6 | 15.5 | 5.6 | 10.9 | 13.8 | 1.7 | 9.4 | 23.4 | 51.3 | 7.7 | 21.7 | 49.6 |
| Seorak | 0 | 0.9 | 1.9 | 2.4 | 0.9 | 1.9 | 2.4 | 0 | 1.1 | 4.0 | 9.3 | 1.1 | 4.0 | 9.3 |
| Sokri | 5.4 | 12.3 | 19.8 | 23.9 | 6.9 | 14.4 | 18.5 | 5.4 | 14.8 | 32.7 | 63.0 | 9.4 | 27.3 | 57.6 |
| Naejang | 7.0 | 20.3 | 28.6 | 33.9 | 13.3 | 21.6 | 26.9 | 7.0 | 21.6 | 42.9 | 77.4 | 14.6 | 35.9 | 70.4 |
| Gaya | 0.7 | 1.2 | 2.2 | 2.7 | 0.5 | 1.5 | 2.0 | 0.7 | 1.1 | 4.5 | 12.2 | 0.4 | 3.8 | 11.5 |
| Deogyu | 0.1 | 1.4 | 2.7 | 3.5 | 1.3 | 2.6 | 3.4 | 0.1 | 1.6 | 5.9 | 16.8 | 1.5 | 5.8 | 16.7 |
| Odae | 0.1 | 0.7 | 1.8 | 2.2 | 0.6 | 1.7 | 2.1 | 0.1 | 0.9 | 3.4 | 8.7 | 0.8 | 3.3 | 8.6 |
| Juwang | 11.3 | 24.6 | 32.3 | 37.7 | 13.3 | 21.0 | 26.4 | 11.3 | 24.1 | 44.1 | 74.0 | 12.8 | 32.8 | 62.7 |
| Chiak | 0.8 | 4.5 | 9.3 | 10.1 | 3.7 | 8.5 | 9.3 | 0.8 | 6.4 | 17.4 | 39.3 | 5.6 | 16.6 | 38.5 |
| Worak | 4.3 | 5.4 | 10.4 | 11.5 | 1.1 | 6.1 | 7.2 | 4.3 | 18.2 | 37.5 | 69.3 | 13.9 | 33.2 | 65.0 |
| Bukhan | 5.4 | 20.0 | 30.9 | 34.5 | 14.6 | 25.5 | 29.1 | 5.4 | 23.8 | 46.7 | 81.9 | 18.4 | 41.3 | 76.5 |
| Sobek | 0.3 | 1.7 | 3.9 | 4.6 | 1.4 | 3.6 | 4.3 | 0.3 | 2.4 | 8.1 | 21.8 | 2.1 | 7.8 | 21.5 |
| Wolchul | 7.8 | 19.3 | 28.2 | 34.7 | 11.5 | 20.4 | 26.9 | 7.8 | 20.5 | 43.5 | 77.8 | 12.7 | 35.7 | 70.0 |
| Byeonsan | 5.7 | 19.6 | 30.9 | 37.0 | 13.9 | 25.2 | 31.3 | 5.7 | 22.5 | 46.0 | 80.1 | 16.8 | 40.3 | 74.4 |
| Mudeung | 0 | 7.2 | 11.9 | 14.7 | 7.2 | 11.9 | 14.7 | 0 | 2.0 | 7.3 | 21.8 | 2.0 | 7.3 | 21.8 |
| Taebaek | 0.3 | 2.8 | 4.9 | 5.7 | 2.5 | 4.6 | 5.4 | 0.3 | 2.8 | 8.2 | 18.7 | 2.5 | 7.9 | 18.4 |
| Palgong | 0.5 | 10.6 | 15.8 | 18.8 | 10.1 | 15.3 | 18.3 | 0.5 | 6.9 | 18.1 | 39.0 | 6.4 | 17.6 | 38.5 |
| Average | **2.9** | **8.9** | **13.8** | **16.4** | **6.0** | **11.0** | **13.5** | **2.9** | **10.0** | **22.0** | **42.8** | **7.2** | **19.2** | **39.9** |

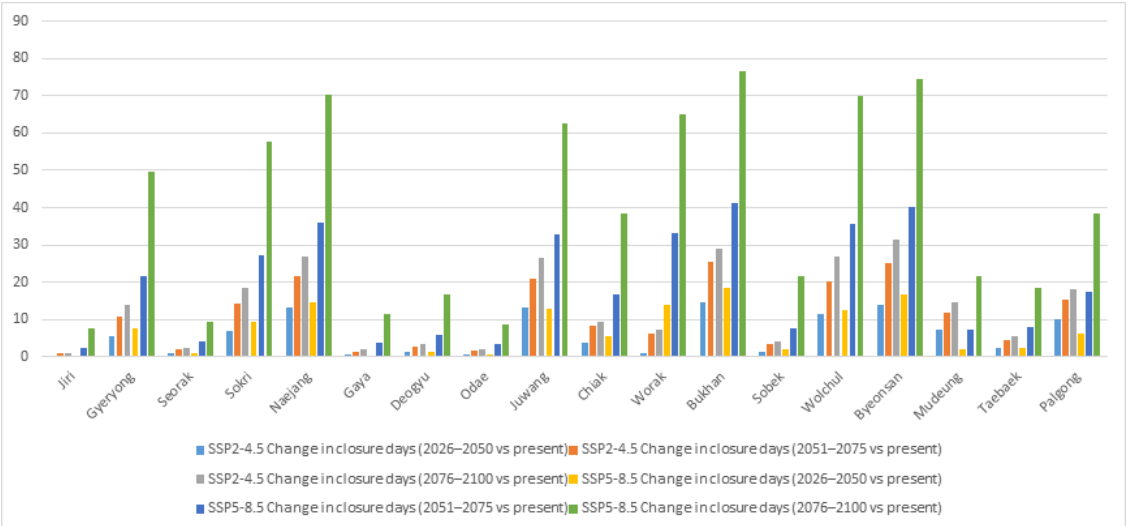


Fig. 6. Increase in the number of closure days due to heat wave warnings relative to the present

Table 7. Control days due to cold wave

(Unit: Days)

| Park Name | SSP2-4.5 | | | | | | | SSP5-8.5 | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | The present (a) | 2026 ~ 2050 (b) | 2051 ~ 2075 (c) | 2076 ~ 2100 (d) | Number of days of increase | | | The present (a) | 2026 ~ 2050 (b) | 2051 ~ 2075 (c) | 2076 ~ 2100 (d) | Number of days of increase | | |
| | | | | | (b-a) | (c-a) | (d-a) | | | | | (b-a) | (c-a) | (d-a) |
| Jiri | 25.3 | 14.6 | 8.5 | 3.8 | -10.7 | -16.8 | -21.5 | 25.3 | 9.2 | 4.0 | 0.4 | -16.1 | -21.3 | -24.9 |
| Gyeryong | 13.3 | 9.5 | 4.6 | 1.6 | -3.8 | -8.7 | -11.7 | 13.3 | 5.3 | 1.9 | 0.0 | -8.0 | -11.4 | -13.3 |
| Seorak | 39.8 | 32.5 | 24.1 | 16.9 | -7.3 | -15.7 | -22.9 | 39.8 | 25.4 | 15.5 | 6.8 | -14.4 | -24.3 | -33.0 |
| Sokri | 45.3 | 33.7 | 25.0 | 17.9 | -11.6 | -20.3 | -27.4 | 45.3 | 26.4 | 16.2 | 6.8 | -18.9 | -29.1 | -38.5 |
| Naejang | 11.4 | 6.0 | 2.4 | 0.9 | -5.4 | -9.0 | -10.5 | 11.4 | 3.5 | 1.0 | 0 | -7.9 | -10.4 | -11.4 |
| Gaya | 19.6 | 14.7 | 8.7 | 3.9 | -4.9 | -10.9 | -15.7 | 19.6 | 9.3 | 4.1 | 0.4 | -10.3 | -15.5 | -19.2 |
| Deogyu | 43.4 | 31.2 | 22.4 | 15.4 | -12.2 | -21.0 | -28.0 | 43.4 | 23.9 | 13.8 | 4.6 | -19.5 | -29.6 | -38.8 |
| Odae | 57.6 | 43.9 | 34.8 | 26.5 | -13.7 | -22.8 | -31.1 | 57.6 | 36.2 | 24.2 | 14.1 | -21.4 | -33.4 | -43.5 |
| Juwang | 18.7 | 17.0 | 11.3 | 6.1 | -1.7 | -7.4 | -12.6 | 18.7 | 11.6 | 5.8 | 1.1 | -7.1 | -12.9 | -17.6 |
| Chiak | 42.1 | 35.1 | 26.4 | 19.2 | -7.0 | -15.7 | -22.9 | 42.1 | 27.8 | 17.4 | 8.1 | -14.3 | -24.7 | -34.0 |
| Worak | 23.9 | 27.6 | 19.7 | 13.1 | 3.7 | -4.2 | -10.8 | 23.9 | 14.5 | 7.4 | 1.4 | -9.4 | -16.5 | -22.5 |
| Bukhan | 10.9 | 9.6 | 4.9 | 1.7 | -1.3 | -6.0 | -9.2 | 10.9 | 5.6 | 2.1 | 0.1 | -5.3 | -8.8 | -10.8 |
| Sobek | 25.1 | 22.7 | 15.6 | 9.5 | -2.4 | -9.5 | -15.6 | 25.1 | 15.7 | 8.6 | 2.3 | -9.4 | -16.5 | -22.8 |
| Wolchul | 2.5 | 1.0 | 0.3 | 0.1 | -1.5 | -2.2 | -2.4 | 2.5 | 0.4 | 0.1 | 0 | -2.1 | -2.4 | -2.5 |
| Byeonsan | 0.8 | 0.3 | 0.1 | 0.0 | -0.5 | -0.7 | -0.8 | 0.8 | 0 | 0 | 0 | -0.8 | -0.8 | -0.8 |
| Mudeung | 12.5 | 1.9 | 0.7 | 0.2 | -10.6 | -11.8 | -12.3 | 12.5 | 3.0 | 1.0 | 0 | -9.5 | -11.5 | -12.5 |
| Taebaek | 31.5 | 23.7 | 16.7 | 10.4 | -7.8 | -14.8 | -21.1 | 31.5 | 17.8 | 10.4 | 3.8 | -13.7 | -21.1 | -27.7 |
| Palgong | 12.9 | 7.3 | 3.6 | 1.2 | -5.6 | -9.3 | -11.7 | 12.9 | 5.4 | 2.0 | 0.1 | -7.5 | -10.9 | -12.8 |
| Average | **24.3** | **18.5** | **12.8** | **8.2** | **-5.8** | **-11.5** | **-16.0** | **24.3** | **13.4** | **7.5** | **2.8** | **-10.9** | **-16.7** | **-21.5** |

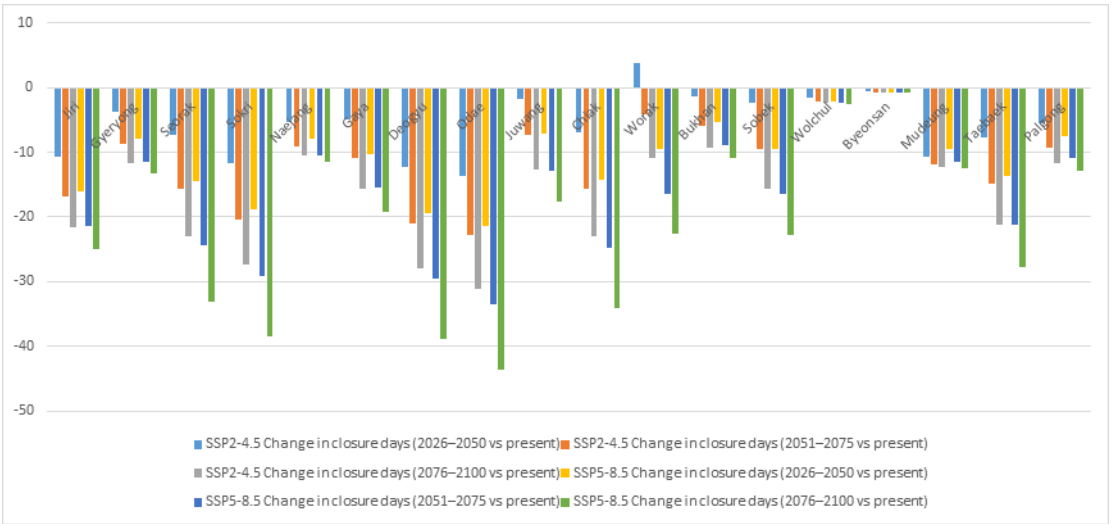


Fig. 7. Increase in the number of closure days due to cold wave warnings relative to the present

SSP2-4.5 시나리오에서도 폭염으로 인한 출입통제일수는 증가하였으나, 고탄소 시나리오인 SSP5-8.5와 비교할 때 그 증가 폭은 상대적으로 작게 나타나, 기후변화 완화의 필요성을 시사한다.

### 4.4. 한파로 인한 통제일수 전망

한파로 인한 통제일수는 전반적으로 감소하는 경향을 보였다. 전체 국립공원의 한파로 인한 통제일수 평균은 SSP2-4.5 시나리오의 경우, 2026 ~ 2050년 18.5일, 2051 ~ 2075년 12.8일, 2076 ~ 2100년 8.2일로 점차 감소하는 추세를 보였다. 한편, SSP5-8.5 시나리오에서는 동일한 기간에 각각 13.4일, 7.5일, 2.8일로 나타나, 고온·고배출 경로 하에서 한파로 인한 통제일수가 더욱 급격한 감소 추세를 보였다. 공원별로는 현재와 2026 ~ 2050년을 비교하였을 때 모든 국립공원에서 통제일수가 감소하였으며, 극한 기후변화를 가정한 SSP5-8.5 시나리오에서는 오대산국립공원의 통제일수가 21.4일 감소하여 가장 큰 변화를 보였다. 또한, 현재와 2076 ~ 2100년을 비교한 결과에서도 전 국립공원에서 통제일수 감소 추세가 지속되었다. SSP2-4.5 시나리오에서는 SSP5-8.5보다 한파로 인한 통제일수 감소 폭이 작게 나타났으며, 이는 폭염과 마찬가지로 기후변화 경로에 따라 기상재해의 강도와 양상이 달라질 수 있음을 시사한다.

## 5. 결론

### 5.1. 주요 결과 요약

본 연구는 기후변화 시나리오(SSP2-4.5, SSP5-8.5)를 기반으로 2026년부터 2100년까지 국립공원 탐방로 통제일수를 전망하고, 이를 토대로 재난관리의 방향성을 제시하였다. 분석 결과, 강수와 폭염 증가는 통제일수 확대를 유발한 반면, 한파는 감소하여 통제일수가 줄어드는 경향을 보였다. 특히 SSP5-8.5 시나리오에서 변화 폭이 더 크게 나타나, 고탄소 배출 경로에서 국립공원 관리 부담이 확대될 가능성이 확인되었다.

호우는 SSP2-4.5 시나리오에서는 통제일수가 점진적으로 증가 또는 유지 경향을 SSP5-8.5 시나리오에서는 장기적으로 더 큰 증가 추세를 보였다. 대설은 SSP2-4.5 시나리오에서 전 기간 동안 일정한 수준을 유지한 반면, SSP5-8.5 시나리오에서는 중기적으로 증가한 후 장기적으로 다소 감소하는 추세를 보였다. 폭염은 두 시나리오 모두에서 통제일수가 증가하였으나, SSP5-8.5 시나리오에서는 더욱 가파른 증가가 나타났다. 한파는 전반적으로 감소 추세를 보여 기온 상승에 따른 영향이 반영된 것으로 판단된다.

이러한 결과는 기후변화가 재난 유형별로 상이한 영향을 미침을 보여주며, 특히 폭염 증가에 대비한 차별화된 탐방 관리 전략이 요구된다. 또한 SSP2-4.5와 같은 온건 시나리오 유지가 재난 위험 완화에 실질적으로 기여할 수 있다는 점에서 정책적 의미를 갖는다. 이는 국립공원 탐방 안전성 확보와 과학적 의사결정 체계 구축에 기여할 수 있는 근거자료가 된다.

정책적 시사점으로는 다음과 같다. 첫째, 시나리오별 통제일수 변화를 고려한 재난 유형별 맞춤형 통제 기준 마련이 필요하다. 둘째, 강수량 증가보다 변동성 확대에 대응할 수 있도록 재난 예·경보 인프라를 강화해야 한다. 셋째, 온실가스 감축 경로 유지가 통제일수 증가 억제에 효과적임이 확인된 만큼, 기후변화 대응정책과 연계된 관리 전략 마련이 요구된다. 넷째, 본 연구에서 도출된 정량 자료는 공원별 자원 배분과 우선순위 설정에 활용될 수 있는 실무적 의의를 가진다.

요약하자면, 본 연구는 기후변화에 따른 국립공원 재해 위험의 시기별·공원별 양상을 정량적으로 분석하고, 이를 바탕으로 맞춤형 대응전략의 필요성과 방향을 제시하였다. 국립공원공단이 실무에 직접 활용할 수 있는 통제일수 데이터를 제공함으로써, 정성적 접근을 넘어선 데이터 기반의 과학적 의사결정 체계를 구축하는 데 기여하였다. 이는 향후 탐방객 안전 확보, 시설 보완, 정책 수립 등 국립공원 운영 전반의 기후위기 적응대책 및 중장기 재난안전 계획 수립에 실효성 있는 근거로 활용될 수 있을 것이다.

그럼에도 불구하고 본 연구는 다음과 같은 한계를 지닌다. 첫째, 사용한 기후변화 시나리오 자료는 일 단위 기온·강수량을 제공하므로, 시간 단위 기준에 기반한 현행 탐방로 통제 기준을 완전히 재현하기는 어렵다. 따라서 절대적 예측치라기보다 시나리오, 시기, 공원 간 상대적 변화 패턴을 해석하는 참고 지표로 활용해야 한다. 둘째, 분석 대상은 호우, 대설, 폭염, 한파로 제한되었으며, 가뭄, 강풍 등 다른 기후재해나 해상·해안형 공원에 대한 영향은 직접적으로 다루지 못하였다. 셋째, 통제일수 증가가 탐방 이용 행태, 생태계 변화, 지역경제 및 지역사회에 미치는 영향은 정량적으로 분석하지 못하였다. 향후 연구에서는 시간 해상도가 높은 기후·운영 자료를 결합하여 통제 기준의 재현성을 높이고, 재해 유형 및 대상 공원을 단

계적으로 확장하며, 통제일수 변화가 생태계·이용·지역경제에 미치는 영향을 통합적으로 분석함으로써 보다 종합적인 국립공원 기후변화 대응 전략으로 발전시킬 필요가 있다.

### 5.2. 국내·외 탐방 통제 기준 및 사례를 통한 정책적 활용

우리나라 국립공원에서의 탐방 통제는 「자연공원법」 제28조를 근거로 운영되고 있다. 동 조문은 자연생태계 보호, 훼손지 회복, 탐방객 안전 확보 등을 위해 공원구역 내 특정 지역을 자연공원 특별보호구역 또는 임시출입통제구역으로 지정하고, 일정 기간 출입을 금지·제한하거나 탐방예약구간으로 지정하여 탐방객 수를 제한할 수 있도록 규정하고 있다. 또한 출입 제한 시에는 인터넷 홈페이지 게시 및 안내판 설치 등을 통해 사전 공고하도록 의무화하고 있어, 법·제도 차원에서 위험기반 탐방 통제의 근거가 마련되어 있다.

실제 운영 측면에서 국립공원공단은 계절·재난 유형별로 상이한 통제 기준을 적용하고 있다. 기상재해에 대해서는 기상청 특보 체계와 연계한 선제적 통제가 강화되는 추세이다. 국립공원공단은 여름철 산사태로 인한 인명피해를 예방하기 위해, 과거 호우특보 발효 이후에 주로 이뤄지던 통제를 호우예비특보 단계부터 선제적으로 시행할 수 있도록 하겠다고 발표한 바 있다. 특히 급경사지 및 계곡 등 인명피해 우려지역과 재난취약지구를 중점 관리대상으로 지정하고 있다. 한파, 강풍 등 타 재난 유형에서도 다수의 탐방로가 일시적으로 통제되는 사례가 발생하고 있다.

국외의 경우, 북미·유럽 주요 보호지역에서는 극한기상과 대형재난에 대응하여 보다 정교한 위험기반 통제와 강력한 법 집행을 병행하는 경향이 나타난다. 캐나다 재스퍼 국립공원의 경우 대형 산불 발생 후 피해지역을 “closure zone”으로 지정하고, 출입을 법적으로 금지한다. 화재 이후에도 낙목·낙석, 돌발 홍수(flash flood), 지반 불안정, 지하에 남은 열기 등 장기간 지속되는 2차 위험요인이 존재한다는 점을 고려하여, 해당 구역을 수 주에서 수년에 이르기까지 장기적으로 폐쇄할 수 있으며, 무단 출입 시 최대 25,000캐나다달러의 벌금이 부과된다. 동시에 Parks Canada는 트레일 컨디션 리포트와 경고·폐쇄 정보 페이지를 통해 각 탐방로의 개방 여부와 위험상태를 수시로 갱신함으로써, 탐방객이 사전에 합리적인 위험 선택을 할 수 있도록 지원하고 있다.

미국 국립공원관리청(National Park Service, NPS)은 허리케인, 산불, 겨울폭풍 등 극한기상 및 자연재난 발생 시 공원별로 도로·시설·탐방로를 탄력적으로 폐쇄·조정하고, 통합 알림 시스템(park alerts)을 통해 해당 정보를 제공한다. NPS는 비상대응 정책에서 “인명 보호가 모든 관리행위에 우선한다”고 명시하고 있으며, 허리케인 Erin, 남부 캘리포니아 산불, 겨울철 폭설 등 사건 발생 시 특정 국립공원의 일부 구역을 일시 폐쇄한 사례가 보고되어 있다. 또한 최근 미국 애리조나의 Lake Mead National Recreation Area에서는 한 주 동안 1명의 사망과 30여 명의 구조가 발생한 이후, 국립공원관리청이 100°F(약 38℃) 안팎의 초기 폭염기에 다수의 열질환 사고가 반복된다는 이유로 Arizona Hot Springs Trail과 Goldstrike Trail을 “위험 수준이 완화될 때까지” 일시 폐쇄한 바 있다. 이는 폭염을 포함한 극한기후를 재난으로 인식하고, 단기·국지적인 위험이더라도 사고·구조 빈도와 자원 소모를 고려하여 탐방로 통제 결정을 내리는 하나의 선진 사례로 볼 수 있다.

이러한 국내·외 사례는 탐방 통제가 단순히 기상 특보 유무에 따른 일률적인 출입 제한이 아니라, 법·제도적 근거, 재난 유형별 위험 특성, 생태계 회복 필요성, 구조·구호 역량 등을 종합적으로 고려하는 위험기반 관리 수단임을 시사한다. 동시에, 본 연구에서 제시한 재해 유형별·시기별 통제일수 전망은 이러한 통제 기준을 정량적으로 재검토하고, 기후변화에 따른 극한기후의 상시화·장기화를 반영하여 통제 시기·구간·수준을 재설계하는 데 활용될 수 있는 기초 정보를 제공한다는 점에서 의의를 가진다.

### 5.3. 극한기후 대응을 위한 주체별 역할 및 정책적 시사점

본 연구에서 제시한 재해 유형별·시기별 탐방로 통제일수 전망은 국립공원 기후위기 대응 역량을 강화하기 위해 각 주체가 어떠한 역할을 수행해야 하는지에 대해 구체적인 방향을 제공한다. 특히 호우·대설·폭염·한파에 따른 극한기후의 양상이 공원별·기간별로 상이하게 나타난다는 점은 단일한 일률적 대응이 아니라 주체별·공간별로 차별화된 역할 분담과 협력 체계가 필요함을 시사한다.

첫째, 국립공원공단은 극한기후에 선제적으로 대응하는 핵심 관리주체로서, 기존의 경험·관행 중심 관리에서 벗어나 통제일수 전망과 기상·지형·이용특성을 결합한 위험기반 관리체계를 확립해야 한다. 이를 위해 재해 유형

별 통제 기준을 단계화하고, 관측·경보 인프라와 현장 안내·대피 체계를 통합하는 적응적 관리체계를 구축할 필요가 있다. 통제일수 증가가 예상되는 공원·시기를 중심으로 인력·예산·시설 보강의 우선순위를 재조정하고, 장기적으로는 기후변화 시나리오를 반영한 국립공원 중장기 재난안전계획 및 기후적응대책에 본 연구 결과를 체계적으로 내재화하는 작업도 필요하다.

둘째, 지방자치단체는 국립공원공단과 협력하여 진입도로, 대피시설, 의료·구호체계를 통합 관리하고, 기상특보–통제 결정–대피 안내로 이어지는 연계 프로토콜을 강화해야 한다. 또한 통제일수 전망을 관광·교통 정책에 반영하여 과밀 분산과 대체 관광지 제시 등 기후탄력적 지역관광 구조를 설계할 필요가 있다.

셋째, 탐방객은 기후변화에 따른 재해 위험을 수동적으로 수용하는 대상이 아니라, 안전을 함께 만들어가는 주체로 인식될 필요가 있다. 극한기후 하에서는 탐방 전 기상정보와 국립공원의 통제·위험 정보를 확인하고, 통제구역 및 위험구간을 우회하는 '사전 정보 기반 탐방문화'를 정착시키는 것이 중요하다. 특히 폭염·한파·집중호우가 예상되는 시기에는 출발 시간대 조정, 코스 난이도 하향 조정, 휴식·수분 보충, 적절한 장비 준비 등 자기보호 행동이 필수적이다. 국립공원공단과 지자체는 통제일수 전망과 실제 통제 현황을 바탕으로, 안전수칙과 위험구간 정보를 알기 쉬운 형태(모바일 앱, SNS, 웹, 안내판 등)로 제공하고, 탐방객은 이에 근거하여 자신의 위험 허용 수준을 조정하는 '공유 책임(shared responsibility)' 구조를 형성해야 한다.

넷째, 정책적 측면에서 본 연구는 극한기후에 대한 국립공원 재난관리 정책을 세 가지 방향으로 전환할 필요성을 제기한다. 우선, 통제일수 전망 결과를 법·제도적 수준에서 활용하기 위해 자연공원 관련 법령과 하위 지침에 기후변화 시나리오를 반영한 탐방로 통제 기준과 절차를 명문화할 필요가 있다. 다음으로, 국립공원공단–지자체–유관기관 간 재난정보 공유 및 공동 대응을 위한 거버넌스를 강화하여, 특정 재해 유형·시기에 통제일수가 급증하는 공원을 중심으로 광역 단위의 기후위기 적응 계획을 수립해야 한다. 마지막으로, 국립공원 통제일수의 증가가 탐방 이용, 생태계, 지역경제에 미치는 파급효과를 모니터링하고, 그 결과를 바탕으로 탐방 분산, 계절·시간대별 차등 운영, 기후친화적 탐방프로그램 개발 등 보다 종합적인 적응정책으로 확장해 나갈 필요가 있다.

요약하면, 본 연구가 제시한 통제일수 전망은 국립공원공단, 지자체, 탐방객이 각자의 역할을 재정립하고 상호협력하는 데 활용 가능한 실질적 근거를 제공한다. 극한기후가 상시화되는 기후위기 시대에 국립공원의 안전성과 이용 가능성을 동시에 확보하기 위해서는, 본 연구 결과를 토대로 주체별 역할을 명확히 하고, 이를 제도·계획·현장 운영에 구체적으로 반영하는 것이 필수적 과제로 제기된다.

## 사사

이 연구는 황보정도의 상지대학교 박사학위 논문 '기후변화에 따른 국립공원 통제일수 전망'을 기반으로 작성하였음.

## Reference

Ahn S-R, Lee J-W, Kim S-J. 2015. Projection of future snowfall and assessment of heavy snowfall vulnerable area using RCP climate change scenarios. KSCE J Civ Environ Eng Res 35(3): 545-556.

Carrington D 2019. Climate crisis: 11,000 scientists warn of 'untold suffering'. The Guardian; [accessed 2024 Nov 30]. https://www.theguardian.com/environment/2019/nov/05/climate-crisis-11000-scientists-warn-of-untold-suffering

Cheon J. 2017. A study on changes of disaster areas caused by heavy snowfall and classification of heavy snow disaster types in Korea [thesis]. Konkuk University.

Choi G-Y, Kwon W-T. 2008. Current and future changes in the type of wintertime precipitation in South Korea. J Korean Geogr Soc 43(1): 1-19.

Cohen J, Screen JA, Furtado JC, Barlow M, Whittleston D, Coumou D, Francis J, Dethloff K, Entekhabi D, Overland J, Jones J. 2014. Recent Arctic amplification and extreme mid-latitude weather. Nat Geosci 7(9): 627-637. doi: 10.1038/ngeo2234

Ha J-H, Park H-S, Chung G-H. 2020. Snow vulnerability analysis in the Korean Peninsula using RCP climate change scenarios. J Korean Soc Hazard Mitigation 20(4): 251-259. doi: 10.9798/KOSHAM.2020.20.4.251

Han S-Y. 2009. Assessing the impact of climate change

on forest recreation demand. J Korean Inst For Recreat 13(2): 1-4. doi: 10.34272/forest.2009.13.2.001

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). 2021. Climate change 2021: The physical science basis. Contribution of working group I to the sixth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press. https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/

Jeon M-J, Cho Y-S. 2015. An analysis of a winter-time temperature change and an extreme cold waves frequency in Korea. J Clim Change Res 6(2): 87-94. doi: 10.15531/KSCCR.2015.6.2.87

Joh H-K, Kim S-B, Cheong H, Shin H-J, Kim S-J. 2011. Projection of future snowfall by using climate change scenarios. J Korean Assoc Geogr Inf Stud 14(3): 188-202. doi: 10.11108/kagis.2011.14.3.188

Kang H-G, Kwon H-W, Han S-Y. 2024. Analysis on the effect of meteorological factors on national park exploration demand. J Korean Inst For Recreat 28(1): 43-57. doi: 10.34272/forest.2024.28.1.004

Kim D-W, Jung J-H, Lee J-S, Lee J-S. 2014. Characteristics of heat wave mortality in Korea. Atmosphere 24(2): 225-234. doi: 10.14191/Atmos2014.24.2.225

Kim C-C, Kim T-G. 2016. Evaluation on climate change vulnerability of Korea national parks. Korean J Ecol Environ 49(1): 42-50. doi: 10.11614/KSL.2016.49.1.042

Kim G-I. 2011. A study on the trend of heavy rainfall events in South Korea [thesis]. Yonsei University.

Kim J-Y, Lee D-G, Park I-S, Choi B-C, Kim J-S. 2006. Influences of heat waves on daily mortality in South Korea (in Korean with English abstract). Atmosphere 16(4): 269-278.

Kim Y-T, Park M-H, Lee SY. 2020. Spatio-temporal summer rainfall pattern in 2020 from a rainfall frequency perspective. Korean Soc Disaster Secur 13(4): 93-104. doi: 10.21729/ksds.2020.13.4.93

Korea Environment Institute. 2023. Mid- to long-term research directions for climate change adaptation and mitigation. Korea Environment Institute.

Korea National Park Service. 2000. Introduction to national park studies. Yeondu Publishing.

Korea National Park Service. 2024. Operational plan for disaster early warning system using rainfall radar [Internal document].

Korea National Park Service. 2025a. Operation guidelines for the National Park Disaster Safety Control Center (Originally published 2013) [Internal guideline].

Korea National Park Service. 2025b. 2025 National Park Basic Statistics. Korea National Park Service Publishing.

Lee T-Y, Byun K-Y, Yang J. 2005. Numerical prediction of snowfall depth. Proceedings of the Spring Meeting of the Korean Meteorological Society. p. 348-349.

O'Gorman PA. 2014. Contrasting responses of mean and extreme snowfall to climate change. Nature 512(7515): 416-418. doi: 10.1038/nature13625

Ratkowsky DA. 1990. Handbook of nonlinear regression models. Marcel Dekker.

Wang SY, Hipps L, Gillies RR, Yoon JH. 2017. El Niño and La Niña change the mean climate and extreme weather in the United States. Clim Dyn 48(9): 3131-3150. doi: 10.1007/s00382-016-3236-y

Yoo Y-J, Hwang J-H, Kim Y-J, Lee K-I, Lee W-K, Biging GS, Chon J-H, Lee D-K, Seo J-Y, Jeon S-W. 2024. Introducing a novel methodology for designation and management of protected areas in the context of climate change: A case study in the Republic of Korea. Ecol Indic 158: 111536. doi: 10.1016/j.ecolind.2023.111536

Yoon D-H, Nam W-H, Hong E-M, Kim TG, Heo C-H, Hayes MJ. 2018. A comparison of the impact of regional anthropogenic climatic change in urban and rural areas in South Korea (1955-2016). J Korean Soc Agric Eng 60(3): 37-50. doi: 10.5389/KSAE.2018.60.3.037