

## 기후변화에 따른 미래 지상 작전 영향

이태진<sup>1)</sup> · 박상환<sup>\*,1)</sup> · 박수연<sup>1)</sup> · 김민지<sup>1)</sup> · 강경민<sup>1)</sup> · 황재돈<sup>1)</sup> · 김 성<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup> 공군 기상단

<sup>2)</sup> 위즈아이

## The Impact of Climate Change on Future Ground Operations

Taejin Lee<sup>1)</sup> · Sanghwan Park<sup>\*,1)</sup> · Suyeon Park<sup>1)</sup> · Minji Kim<sup>1)</sup> · Gyeongmin Kang<sup>1)</sup> · Jaedon Hwang<sup>1)</sup> · Sung Kim<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup> Republic Of Korea Air Force Weather Group, South Korea

<sup>2)</sup> Wizai, South Korea

(Received 18 April 2023 / Revised 12 November 2023 / Accepted 20 November 2023)

### Abstract

The information about battlefield environment changes and operational impacts on Korean Peninsula due to climate change is essential for national defense. In this study, the future impact of four ground operations was analyzed by using the national climate change standard scenario based on the IPCC 6<sup>th</sup> report. As a result, it was analyzed that the number of operational-limited days for ambush and airlift operations would decrease, making the operational environment favorable. However, the operational environment unfavorable as the number of operational-limited days for crossing and reconnaissance operations increase, but the number is not large so much.

Key Words : Climate Change(기후변화), SSP(공통사회경제경로), CORDEX(지역기후 상세화 프로젝트), Ground Operation Impact(지상작전영향), Weather Limits(기상제한치), Battlefield Environment(전장 환경)

### 1. 서론

기후변화가 전 세계적 의제로 자리 잡으면서, UN은 기후변화에 관한 정부 간 협의체(Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC)를 구성하여 기후변화 현황과 미래 전망에 대한 과학적 정보를 제공하는 평가보고서(Assessment Report, AR)를 발간하여 기후위기에

대응하고 있다.

최근 발표된 IPCC 6차 평가보고서(IPCC AR6)에 따르면, 인간 활동의 영향으로 지구 평균기온은 산업화 시기보다 약 1.1 °C 증가했고, 해수면 상승, 생태계 교란, 가뭄과 홍수 등 극한 기상의 발생 가능성 또한 증가했다<sup>[1]</sup>. 우리나라도 기후변화 영향으로 수자원, 산림·생태계, 농업, 산업, 에너지 등 다양한 영역에 걸쳐 상당한 피해가 우려되는 실정이다<sup>[2]</sup>.

이에 따라 기후변화 대응을 위해 각 국가는 사회 전 분야에 걸쳐 취약성 분석, 영향 평가 등 대책을 마

\* Corresponding author, E-mail: kaf73@naver.com  
Copyright © The Korea Institute of Military Science and Technology

런하고 있다. 우리나라도 “국가 기후변화 적응대책”을 중심으로 취약성과 위험성을 분석하고 관리하기 위해 노력하고 있다. 국방 분야에서도 이에 따라 “국방녹색 성장추진계획”을 통해 에너지 효율화, 친환경 및 신재생에너지 확대 등의 노력을 기울이고 있다.

국방 분야는 이러한 노력과 더불어 효율적인 전력 운영을 위해 미래(2090~2100년) 한반도 지역의 전장 환경변화와 그로 인한 작전 영향 연구가 필수적이나 관련 연구는 매우 드문 실정이다. 과거 IPCC 5차 보고서(IPCC AR5)를 적용하여 미래 온도지수와 활주로운도 등 전장 환경변화를 연구한 사례는 있었으나, 남한 지역만을 분석했다는 점에서 한계가 있었다<sup>4,5</sup>.

따라서 이 연구에서는 최근 발표된 IPCC AR6를 활용하여 기후변화에 따른 한반도 전역의 전장 환경 영향, 특히 지상 작전 영향을 중심으로 분석하고자 했다.

## 2. 자료 및 연구 방법

이 연구를 위해 사용한 자료는 작전 수행에 필요한 기상제한치와 기상청 국립기상과학원에서 생산한 국가 기후변화 표준 시나리오이다<sup>6</sup>. 기상제한치는 지상 작전 수행에 영향을 미치는 기상 조건(요소, 임계값)을 말한다. 국가 기후변화 표준 시나리오는 미래 배출 시나리오(Emission Scenario)를 전지구 기후모델(Global Climate Model, GCM)에 사용하여 미래 전망을 생산한 뒤, 이 결과를 다시 지역 기후모델(Regional Climate Model, RCM)에 적용하여 동아시아 지역의 상세 기후 전망을 산출한 자료이다(Fig. 1).

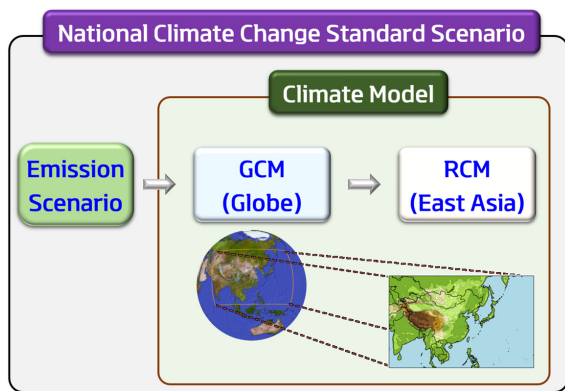


Fig. 1. National climate change standard scenario

## 2.1 전지구 기후 전망

### 2.1.1 미래 배출 시나리오

미래 전지구 기후 전망은 온실가스 감축 수준과 기후변화 대응에 따른 미래 사회경제 구조 변화를 고려한 배출 시나리오를 산정하고, 이 시나리오에 따라 기후변화 전망을 생산한다. IPCC AR6에 적용된 배출 시나리오를 공통사회경제경로(Shared Socioeconomic Pathways, SSP)라 하고, 기후변화에 대한 적응(Adaptation)과 완화(Mitigation) 정도에 따라 5가지로 분류된다<sup>7,8</sup>. 이 연구에서는 대표시나리오 중 친환경(저탄소) 시나리오인 SSP1과 화석연료의 의존도가 높아 완화가 어려운 고탄소 시나리오인 SSP5 결과를 사용했다.

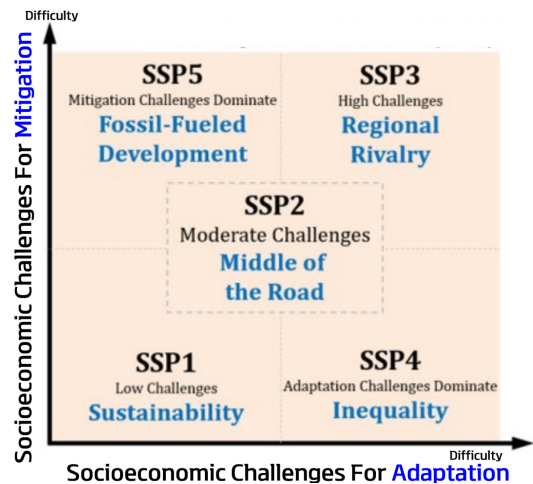


Fig. 2. Shared socioeconomic pathways

### 2.1.2 전지구 기후 전망 생산

SSP를 입력 자료로 사용하여 전지구 기후모델을 수행하여 2100년까지 미래 기후 전망을 생산한다. 전지구 기후모델은 대기, 해양과 해빙 등 지구 시스템의 변화를 나타내는 모델로, 결합모델상호비교프로젝트(Coupled Model Intercomparison Project, CMIP)에 등록되어 있다<sup>9</sup>. IPCC AR6를 위해 CMIP에 속한 전세계 15개국 48개의 모델이 참여했다.

## 2.2 동아시아 기후 전망 생산 및 작전 영향 평가

### 2.2.1 동아시아 기후 전망 생산

CMIP은 수평 해상도가 수백 km에 달하는 전지구 모델들이 참여하여, 각 지역의 상세 기후 전망 생산에

는 한계가 있다. 이를 위해 전지구를 14개 지역으로 나눠 지역에 대한 고해상도(수평해상도 25 km) 기후변화 시나리오를 생산하는 국제 지역기후 상세화 프로젝트인 CORDEX(COordinated Regional climate Downscaling Experiment)를 운영 중이며, 우리나라는 CORDEX-East Asia 그룹에 속해 있다. 이를 위해 CMIP에 참여한 모델인 UKESM1(UK Earth System Model version 1)의 6시간 간격, 연직 37층(1~1000 hPa)의 전망 자료를 RCM의 입력자료로 사용하여 5개의 RCM(HadGEM3-RA, CCLM, WRF, RegCM, GRIMs)을 수행했다<sup>[10,11]</sup>. 이 결과는 2100년까지 하루 단위의 전망 자료를 생산하고 있으나, 이 연구에서는 작전 영향 분석을 위해 시간 단위 자료가 필요하여 HadGEM3-RA의 결과만을 활용했으며, 사용한 변수는 기온, 강수량, 상대습도, 풍속, 일사량이다.

### 2.2.2 지상 작전 영향 평가

기후변화에 따른 4개 지상 작전(매복, 공수, 도하, 수색)을 대상으로 작전 영향 평가를 수행하였으며, 육·해·공 각 군의 기상정보를 지원하는 공군 기상단에서 사용하는 작전별 기상제한치를 기준으로 분석했다<sup>[12]</sup>.

이를 위해 한반도 내에 존재하는 55개(북한 27개, 남한 28개) 기상 관측지점을 선정했다.

기상제한치와 작전 제한일수와의 관계는 식 (1)과 같이 피어슨 상관계수(Pearson Correlation Coefficient)를 적용하여 분석했다.

$$Corr(X, Y) = \frac{\sum (x - \bar{x})(y - \bar{y})}{\sqrt{(\sum (x - \bar{x})^2)(\sum (y - \bar{y})^2)}} \quad (1)$$

[ $\bar{x}$ : x(제한일수)의 평균,  $\bar{y}$ : y(기상 요소)의 평균]

## 3. 미래 전장 환경 변화 및 지상 작전 영향

### 3.1 미래 전장 환경 변화

Fig. 3은 고탄소 시나리오(SSP5)에 따른 미래 한반도 기온과 강수량의 변화를 나타낸 것으로, 기온은 현재 대비 7~8 °C, 강수량은 30~70 % 정도 증가했다. 기온은 고위도로 갈수록, 해안 지역보다 내륙 지역의 상승 폭이 더 컸으며, 강수량은 해안 지역의 상승 폭이 더 큰 것으로 분석되어, CORDEX-East Asia 참여

모델 결과와 일치했다<sup>[6]</sup>. 또한 기온은 미래로 갈수록 뚜렷하게 증가하지만, 강수량은 큰 변동성을 보이면서 증가량도 상대적으로 작은 특성이 있다<sup>[13]</sup>.

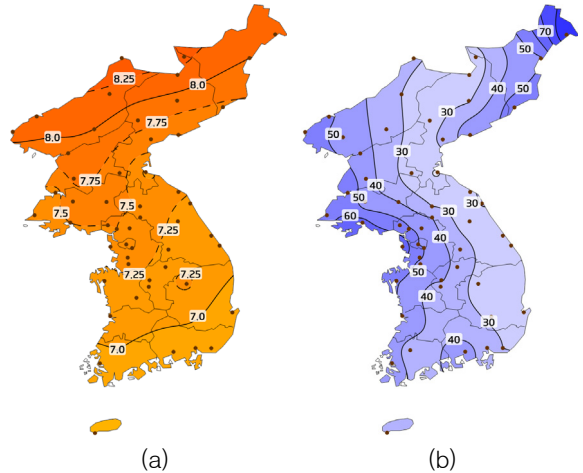


Fig. 3. The anomaly of temperature(a, °C) and precipitation ratio(b, %) during 2090~2100 in SSP5

## 3.2 지상 작전 영향

### 3.2.1 매복 작전

매복 작전은 이동 중이거나 일시적으로 정지한 적에게 은폐된 진지에서 기습공격을 하기 위해 잠복이나 대기하는 작전을 말한다. 기상 제한 요소는 기온과 강수량으로, 기온이 낮거나 강수량이 많으면(기상제한치를 넘으면) 작전 수행에 제한이 된다.

Fig. 4는 시나리오별 매복 작전 제한일수 변화량의 공간분포도로, 저탄소(a), 고탄소(b) 시나리오에 따른 기상에 의한 제한일수의 변화량과 분석 지점을 나타낸 것이다. 변화량은 미래(2090~2100년 평균)에서 현재와의 차이를 나타내며, 양(+의 값은 제한일수의 증가를, 음(-)의 값은 제한일수의 감소를 의미한다.

저/고탄소 시나리오 모두 미래 작전 제한일수는 감소하였으며, 남한은 큰 차이는 없었으나, 북한 내륙 지역에서 감소 경향이 두드러졌다. 특히 북한 북부 개마고원 일대에서 최대로, 저탄소 시나리오에서 약 30일, 고탄소 시나리오에서 약 70일 감소하여 두 시나리오 결과의 차이가 2배 이상 나타났다(Fig. 5). 이는 고위도일수록 기온이 상승하고, 해안 지역으로의 강수량 증가(Fig. 3) 영향을 동시에 받은 결과였다.

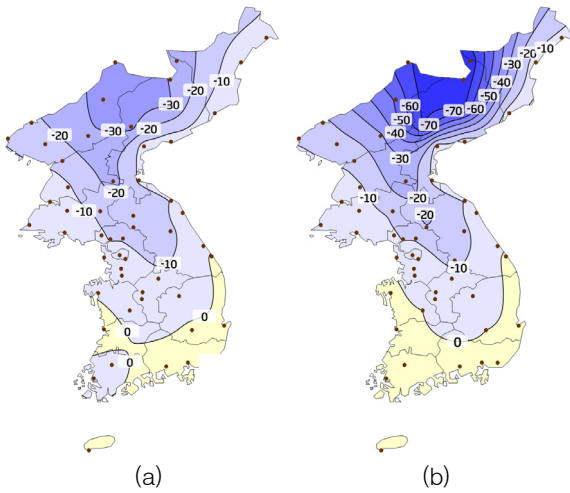


Fig. 4. The anomaly of operational-limited days in ambush operation during 2090~2100 using SSP1(a), and SSP5(b) (unit: days/year)

Table 1은 작전 제한일수와 제한 요소인 기온, 강수량과의 상관관계를 보인 것으로, 작전 제한일수는 기온과 높은 음의 상관관계(-0.6~ -0.7)를, 강수량은 낮은 양의 상관관계(0.1~0.5)를 보였다. 이는 기온만 작전 특성과의 관계라 일치하는 것을 의미한다.

Table 1. The correlation coefficient between operational-limited days in ambush operation and anomaly of temperature / precipitation in SSP5

	Period							
	20s	30s	40s	50s	60s	70s	80s	90s
Temp.	-0.62*	-0.69*	-0.64*	-0.64*	-0.68*	-0.73*	-0.65*	-0.68*
Prcp.	0.28*	0.03	0.50*	0.11	0.19	0.34*	0.22	0.35*

\* 95 % significant level

Fig. 5는 고탄소 시나리오에 대한 매복 작전 제한일수의 미래 변화를 지역별(한반도/남한/북한)로 분석한 것이다. 미래(2090~2100년 평균) 작전 제한일수는 한반도 평균 13일, 남한 3일, 북한 24일 감소했으며, 미래로 갈수록 북한 지역의 작전 제한일수 감소가 뚜렷하게 나타났다. 즉, 한반도 미래 매복 작전 제한일수의 감소는 주로 북한 지역에서 나타났으며, 미래로 갈수록 지역별 차이는 증가하는 경향을 보였다.

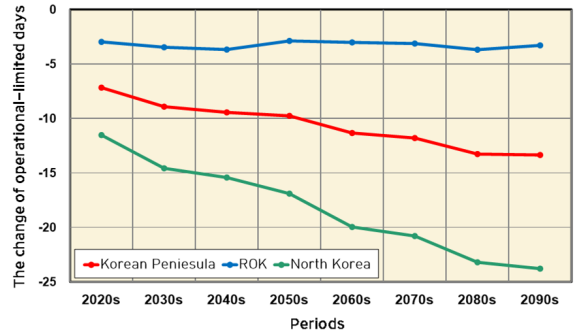


Fig. 5. The averaged decadal variation in anomaly of operational-limited days in ambush operation using SSP5 (unit: days/year)

### 3.2.2 공수 작전

공수 작전은 전략적, 작전적, 전술적 목표를 지원하기 위하여 공중 기동부대를 통해 병력, 장비, 물자를 이동시키는 작전을 말한다. 기상 제한 요소는 시정과 풍속으로, 시정이 짧거나 풍속이 강하면(기상제한치를 넘으면) 작전 수행에 제한이 된다.

시정은 미국 NOAA(National Oceanic & Atmospheric Administration)에서 개발되어 항공기상 분야에서 주로 사용되는 다음의 식 (2), (3), (4)를 사용했다<sup>[14,15]</sup>.

$$VIS(\text{단위 : mile}) = 6000 \times \frac{T - T_d}{RH^{1.75}} \quad (2)$$

$$T - T_d \cong (14.55 + 0.114 T)x + [(2.5 + 0.007 T)x]^3 + (15.9 + 0.117)x^{14} \quad (3)$$

$$x = 1 - \frac{RH}{100} \quad (4)$$

(VIS: 시정, T: 기온, T<sub>d</sub>: 이슬점온도, RH: 상대습도)

Fig. 6은 시나리오별 공수 작전 제한일수 변화량의 공간분포도로, 그림 형식은 Fig. 4와 같다. 저탄소 시나리오에서 한반도 지역의 변화량은 -10일~+5일로, 북한 지역은 증가, 남한 지역은 감소 경향이 나타났다. 고탄소 시나리오의 제한일수는 전 지역에서 감소한 가운데 영남지방에서 최대를 보였으며, 저탄소 대비 20일 이상 증가했다.

공수 작전 제한일수와 시정과 풍속의 상관관계 분석 결과(Table 2), 시정과 음의 상관관계(-0.3~-0.5)를,

풍속의 상관계수는  $-0.2 \sim +0.3$ 로 나타났다. 제한일수와 시정은 역비례하는 특성을 잘 보였으나, 풍속은 뚜렷한 관계를 보이지 않았다. 이는 미래 풍속은 변화가 약한 것에 기인한 것으로 분석된다(미래 시정 및 풍속 변화 경향은 이번 연구에서 제외했다). 공수 작전의 제한일수는 시정의 영향이 더 주요한 것으로 분석되었다.

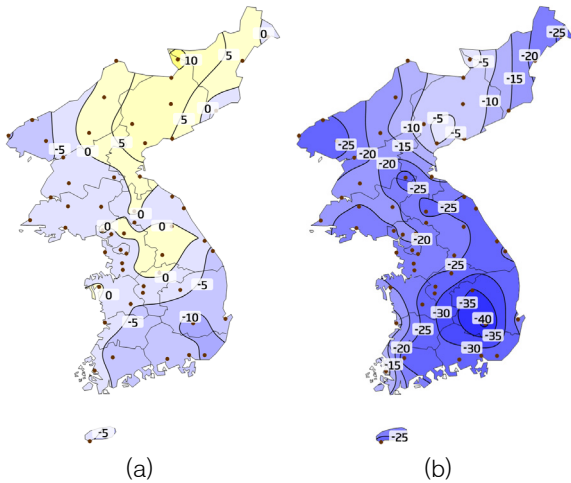


Fig. 6. The anomaly of operational-limited days in airlift operation during 2090~2100 using SSP1(a), and SSP5(b) (unit: days/year)

Table 2. The correlation coefficient between operational-limited days in airlift operation and anomaly of visibility / wind speed in SSP5

	Period							
	20s	30s	40s	50s	60s	70s	80s	90s
Vis.	-0.27*	-0.25*	-0.31*	-0.43*	-0.51*	-0.38*	-0.47*	-0.37*
W/S	0.31*	0.11	-0.06	0.14	0.14	-0.06	0.19	-0.17

\* 95 % significant level

Fig. 7은 지역별 공수 작전 제한일수 변화량의 시계열 그래프로, 그림 형식은 Fig. 5와 같다. 한반도, 남한, 북한 지역의 제한일수 변화는 2050년대까지 큰 변화가 없었으나, 그 이후부터 감소 경향이 뚜렷하고, 감소 폭도 비슷한 점에서 유사했다. 평균 감소일수는 한반도는 9일, 남한은 11일, 북한은 7일 정도로 남한 지역이 가장 컸다.

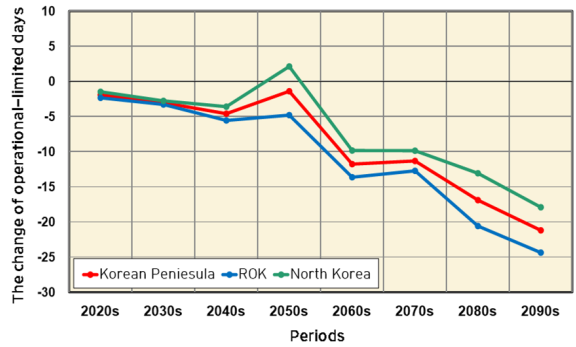


Fig. 7. The averaged decadal variation in anomaly of operational-limited days in airlift operation using SSP5 (unit: days/year)

### 3.2.3 도하 작전

도하 작전은 교두보 설치 등으로 신속하게 하천 장애물을 극복하여 작전 전력의 공격 기세를 유지하기 위한 작전을 말한다. 기상 제한 요소는 강수량과 풍속으로, 강수량이 많거나 풍속이 강하면(기상제한치를 넘으면) 작전 수행에 제한이 된다.

Fig. 8은 시나리오별 도하 작전 제한일수 변화량의 공간분포도로, 그림 형식은 Fig. 4와 같다. 저탄소/고탄소 시나리오 모두 해안 지역으로 증가, 내륙 지역으로 감소하는 경향을 보였으며, 고탄소 시나리오에서 상대적으로 변화 폭이 컸다.

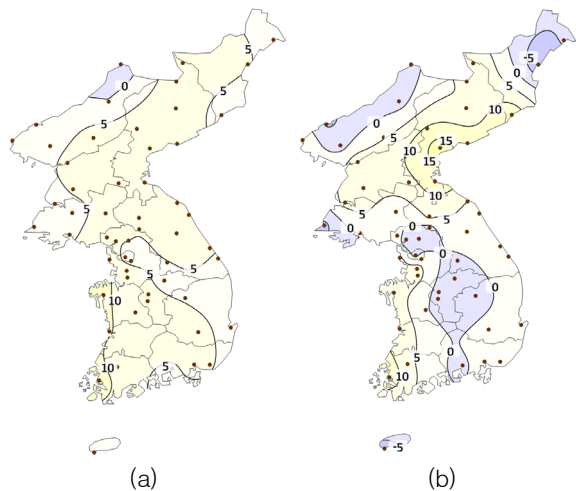


Fig. 8. The anomaly of operational-limited days in river crossing operation during 2090~2100 using SSP1(a), and SSP5(b) (unit: days/year)

도하 작전 제한일수와 강수량과 풍속의 상관관계 분석 결과(Table 3), 강수량은 -0.4~+0.1, 풍속은 -0.1~+0.3로 양/음으로 변동을 보였다. 강수량과 풍속 모두 미래 기후변화에 따른 변화가 크지 않아, 작전 제한일수도 다른 작전에 비해 영향이 적었다.

Table 3. The correlation coefficient between operational-limited days in river crossing operation and anomaly of precipitation / wind speed in SSP5

	Period							
	20s	30s	40s	50s	60s	70s	80s	90s
Prcp.	-0.12	0.01	-0.37*	-0.41*	0.03	0.12	-0.12	-0.15
W/S	0.16	-0.06	0.07	0.26*	0.03	0.25*	0.32*	-0.06

\* 95 % significant level

Fig. 9는 지역별 도하 작전 제한일수 변화량의 시계열 그래프로, 그림 형식은 Fig. 5와 같다. 미래 작전 제한일수는 한반도 평균 3일, 남한 1일, 북한 4일 증가했으나, 미래로 갈수록 뚜렷한 경향성은 보이지 않았다.

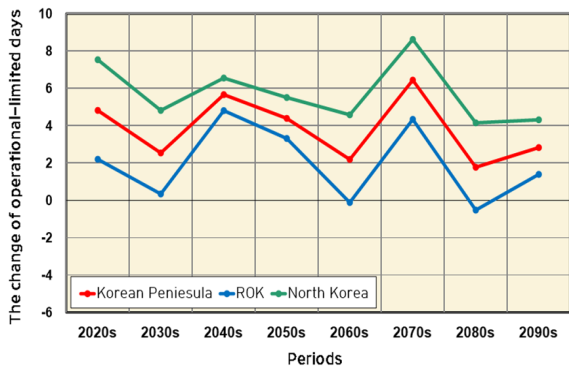


Fig. 9. The averaged decadal variation in anomaly of operational-limited days in river crossing operation using SSP5 (unit: days/year)

### 3.2.4 수색 작전

수색 작전은 특정 대상에 대한 병력, 장비 등의 탐지방법으로, 첩보 수집 활동이나 목표의 발견, 획득 및 확보를 위하여 행해지는 작전을 말한다. 기상 제한요소는 강수량으로, 강수량이 많으면(기상제한치를 넘

으면) 작전 수행에 제한이 된다.

Fig. 10은 시나리오별 수색 작전 제한일수 변화량의 공간분포도로, 그림 형식은 Fig. 4와 같다. 저탄소/고탄소 시나리오 모두 공간적인 차이는 크지 않았고, 저탄소 시나리오에서 한반도 중부지역은 감소하였으며, 고탄소 시나리오에서는 대체로 양의 값을 보였으나, 저탄소 시나리오 대비 차이가 크지 않았다. 이는 미래 강수량 증가가 크지 않은 결과에 영향을 받은 것으로 분석된다<sup>13)</sup>.

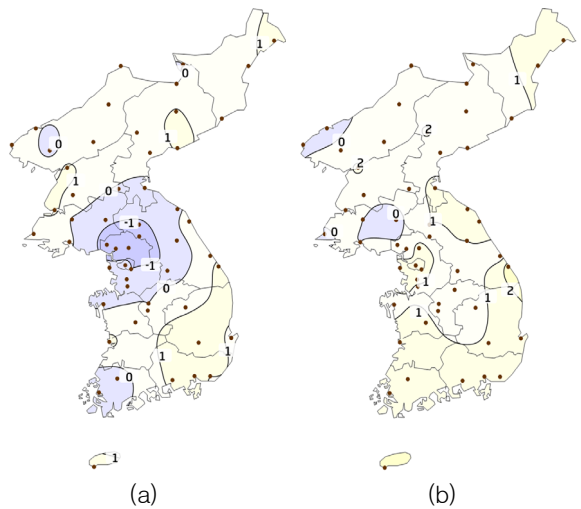


Fig. 10. The anomaly of operational-limited days in reconnaissance operation during 2090~2100 using SSP1(a), and SSP5(b) (unit: days/year)

수색 작전 제한일수와 강수량의 상관관계 분석 결과(Table 4), 상관계수는 -0.1~+0.5로, 양/음으로 변동을 보였다. 앞서 분석한 도하 작전과 같이, 강수량은 미래 기후변화에 따른 변화가 크지 않아 작전 제한일수의 영향도 적었다.

Table 4. The correlation coefficient between operational-limited days in reconnaissance operation and anomaly of precipitation in SSP5

	Period							
	20s	30s	40s	50s	60s	70s	80s	90s
Prcp.	0.13	-0.07	-0.12	0.29*	0.27*	0.04	0.52*	-0.07

\* 95 % significant level



Fig. 11은 지역별 수색 작전 제한일수 변화량의 시계열 그래프로, 그림 형식은 Fig. 5와 같다. 미래 작전 제한일수는 한반도, 남한, 북한 모두 1일 정도 증가했으나, 미래로 갈수록 뚜렷한 경향성은 보이지 않았다.

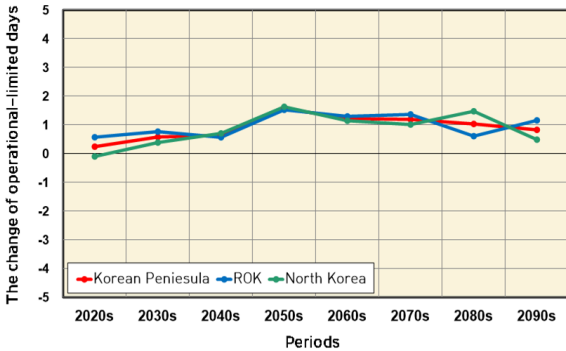


Fig. 11. The averaged decadal variation in anomaly of operational-limited days in reconnaissance operation using SSP5 (unit: days/year)

3.2.5 작전 영향 종합

Table 5는 이 연구에서 분석한 네 가지 지상 작전의 현재 제한일수와 고탄소 시나리오(SSP5)에 따른 미래

Table 5. The average current operational-limited days and time series of 10 years averaged anomaly of operational-limited days in ground operation in SSP5 (unit: days/year)

	Ambush		Airlift		River crossing		Reconnaissance	
	ROK	N.K	ROK	N.K	ROK	N.K	ROK	N.K
Ave.	6.4	24.7	168.6	122.9	130.7	66.3	3.9	5.0
20s	-3.0	-11.5	-2.3	-1.5	2.2	7.5	0.6	-0.1
30s	-3.5	-14.6	-3.3	-2.8	0.3	4.8	0.8	0.4
40s	-3.7	-15.4	-5.6	-3.6	4.8	6.6	0.6	0.7
50s	-2.9	-16.9	-4.8	2.1	3.3	5.5	1.5	1.6
60s	-3.0	-20.0	-13.6	-9.8	-0.1	4.6	1.3	1.1
70s	-3.1	-20.8	-12.7	-9.9	4.3	8.6	1.4	1.0
80s	-3.7	-23.2	-20.6	-13.1	-0.5	4.2	0.6	1.5
90s	-3.3	-23.8	-24.4	-17.9	1.4	4.3	1.2	0.5

지상 작전 제한일수의 지역별 변화량을 나타낸 것이다. 미래 2090년대 기준으로, 매복 작전은 남한 3일, 북한 24일 정도 감소하였고, 공수 작전은 남한 24일, 북한 18일 정도 감소했다. 도하 작전은 남한 1일, 북한 4일 정도 증가하였고, 수색 작전은 남/북한 모두 1일 정도 증가했다. 또한, 매복, 공수 작전은 미래로 갈수록 제한일수가 감소했지만, 도하, 수색 작전은 제한일수가 증가하는 경향이 있으며 변화량은 상대적으로 적었다. 이는 작전에 영향을 주는 기상요소(기온, 강수량, 시정, 풍속)의 미래 변화 경향이 서로 다르기 때문이다. 기온은 미래로 갈수록 뚜렷하게 증가하지만, 강수량은 기간에 따라 변동성을 보이면서 증가량 또한 상대적으로 작다<sup>[13]</sup>. 따라서 기온과 시정(기온으로 계산)이 중요한 매복, 공수 작전은 미래로 갈수록 제한일수의 감소 경향이 뚜렷하지만, 강수량의 영향을 받는 도하, 수색 작전은 변화량이 적고, 경향성도 뚜렷하지 않았다.

4. 결론

이 연구에서는 미래사회 변화를 고려한 저탄소/고탄소 배출 시나리오(SSP1/SSP5)를 사용한 한반도 지역의 미래 2100년까지의 기후 전망을 활용하여 네 가지 지상 작전(매복, 공수, 도하, 수색)에 대한 미래 기후변화 영향을 분석했다. 이를 위해 남한, 북한의 55개 기상관측지점을 선정했고, 각 작전의 기상제한치를 적용하여 제한일수의 미래 변화 경향을 분석했다.

연구 결과, 매복 및 공수 작전의 미래 제한일수는 기후변화에 따른 기온의 증가로 인해 남한, 북한 모두 지속해서 감소하여 한반도 내 작전 운용 환경은 현재보다 양호해질 것으로 분석되었다. 또한, 제한일수는 SSP1 시나리오보다 SSP5 시나리오에서 더 많이 감소했으며, 지역적인 차이도 컸다. 이 결과는 매복, 공수 작전에 영향을 미치는 주요 요인인 기온이 기후변화 시나리오에 의해 증가하는 정도가 위도, 지형(고원지대)에 따라 다르기 때문이다. 도하 및 수색 작전의 제한일수는 현재보다 증가하여 작전 운용 환경은 불리해지지만, 제한일수의 증가량은 많지 않은 것으로 분석되었다. 도하, 수색 작전에 영향을 미치는 주요 요인인 강수량이 기후변화에 따라 큰 변동성을 보이면서 증가 폭도 크지 않았기 때문이다.

이 연구를 통해 기후변화에 따른 미래 한반도 전장

환경변화와 그로 인한 지상 작전 영향 연구를 국가 공식 자료를 사용하여 정량적으로 분석했다는 점에서 의미가 있을 것이다. 다만, 국가 기후변화 표준 시나리오에서 제공하는 변수가 많지 않아 분석할 수 있는 작전의 종류가 한정되었고 지상 작전을 주로 수행하는 병력(인체) 영향에 대한 분석이 제한되었다는 점과 1개 모델(HadGEM3-RA)만 사용하여 모델이 가지는 불확실성이 연구에 포함된 점은 아쉬움이 남는다.

앞으로 기상청 국립기상과학원과의 협력으로 다중(多種) 모델 결과로부터 산출 분석 변수를 확장하여 다양한 지상 작전 영향을 분석하는 연구가 필요할 것이다.

## References

- [1] IPCC, "Summary for Policymakers. Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel," 2021.
- [2] WMO, "The State of the Global Climate," 2021.
- [3] KEI, "Economic analysis of climate change in Korea," 2011.
- [4] Sung Kim, et. al., "The Development of Future Defense Climate Index based on RCP Scenario - WBGT," 2nd Annual Korea Meteorological Society Conference, pp. 497-499, October, 2014.
- [5] Hyosik Eom, et. al., "The Development of Future Defense Climate Index based on RCP Scenario - Runway Temperature," 1st Annual Korea Meteorological Society Conference, pp. 10-11, April, 2015.
- [6] Jin-Uk, Kim, et. al., "Performance Evaluation and Future Projection of East Asian Climate using SSP Scenario-based CORDEX-East Asia Phase 2 Multi-RCM Simulations," Journal of Climate Change Research, Vol. 13, No. 3, pp. 339-354, 2022.
- [7] O'Neill BC, Kriegler E, Riahi K, Ebi KL, Hallegatte S, Carter TR, Mathur R, Vuuren DP., "A new scenario framework for climate change research: the concept of shared socioeconomic pathways," Climatic Change, Vol. 122, No. 3, pp. 387-400, 2014.
- [8] O'Neill BC, Kriegler E, Ebi KL, Kem-Benedict E, Riahi K, Rothman DS, Ruijven BJ, Vuuren DP, Birkmann J, Kok K, Levy M, Solecki W., "The roads ahead: Narratives for shared socioeconomic pathways describing world futures in the 21st century," Global Environ Change, Vol. 42, pp. 169-180, 2017.
- [9] Zhou T, Zou L, Chen X., "Commentary on the Coupled Model Intercomparison Project Phase 6 (CMIP6)," Clim Change Res, Vol. 15, No. 5, pp. 445-456, 2019.
- [10] Sellar AA, et. al., "Implementation of UK Earth system models for CMIP6," JAMES 12, e2019MS001946, 2020.
- [11] Shim, Sungbo, et. al., "Future Changes in Extreme Temperature and Precipitation over East Asia under SSP Scenario," Journal of Climate Change Research, Vol. 12(2), pp. 143-162, 2021.
- [12] ROKAF, "Defence Climate Change White Book," 2016.
- [13] NIMR, "The Climate Change Outlook Report 2020 on Korea Peninsula," 2020.
- [14] Doran, J. A., P. J. Roohr, D. J. Beberwyk, G. R. Brooks, G. A. Bayno, R. T. Williams. J. M. Lewis, and R. J. Lefevre, "The MM5 at the Air Force Weather Agency - New products to support military operation," The 8th Conference on Aviation, Range, and Aerospace Meteorology, Dallas, Texas, 10-15 January, 1999.
- [15] Okjeong Lee, Sangdan Kim, "Future PMPs Projection under Future Dew Point Temperature Variation of RCP 8.5 Climate Change Scenario," J. Korean Soc. Hazard Mitig, Vol. 16, No. 2, pp. 505-514, 2016.