

# 지방 기후위기 적응대책 수립 지원을 위한 영향·취약성 평가도구 연계·통합 활용 방안에 관한 연구: 건강 부문을 중심으로

백지원<sup>\*\*</sup> · 김지연<sup>\*\*\*†</sup> · 노순아<sup>\*\*\*</sup> · 박찬<sup>\*\*\*\*</sup> · 김수련<sup>\*\*\*\*\*</sup> · 김재욱<sup>\*\*\*\*\*</sup> · 진형아<sup>\*\*\*\*\*</sup> · 오윤영<sup>\*\*\*</sup> · 서도현<sup>\*</sup> · 유명수<sup>\*\*\*\*\*</sup>

<sup>\*</sup>국립환경과학원 지구환경연구과 전문연구원, <sup>\*\*</sup>서울시립대학교 일반대학원 조경학과 박사과정, <sup>\*\*\*</sup>국립환경과학원 지구환경연구과 연구사, <sup>\*\*\*\*</sup>서울시립대학교 조경학과 교수, <sup>\*\*\*\*\*</sup>서울시립대학교 도시공학과 연구교수, <sup>\*\*\*\*\*</sup>(주)자연과 공간 이사, <sup>\*\*\*\*\*</sup>국립환경과학원 지구환경연구과 연구관, <sup>\*\*\*\*\*</sup>국립환경과학원 기후대기연구부 부장

## A study on the linkage and integrated application of impact and vulnerability assessment tools (MOTIVE, VESTAP) to support the formulation of regional adaptation measures for climate crisis: Focusing on health sector

Baek, Jiwon<sup>\*\*</sup> · Kim, Jiyeon<sup>\*\*\*†</sup> · Roh, Soona<sup>\*\*\*</sup> · Park, Chan<sup>\*\*\*\*</sup> · Kim, SuRyeon<sup>\*\*\*\*\*</sup> · Kim, Jaek<sup>\*\*\*\*\*</sup> · Jin, HyungAh<sup>\*\*\*\*\*</sup> · Oh, YunYeong<sup>\*\*\*</sup> · Seo, DoHyun<sup>\*</sup> and Yoo, MyungSoo<sup>\*\*\*\*\*</sup>

<sup>\*</sup>Research Fellow, Global Environment Research Division, National Institute of Environmental Research (NIER), Incheon, Korea

<sup>\*\*</sup>Ph.D. Student, Department of Landscape Architecture, University of Seoul, Seoul, Korea

<sup>\*\*\*</sup>Researcher, Global Environment Research Division, NIER, Incheon, Korea

<sup>\*\*\*\*</sup>Professor, Department of Landscape Architecture, University of Seoul, Seoul, Korea

<sup>\*\*\*\*\*</sup>Research Professor, Department of Urban Planning & Design, College of Urban Sciences, University of Seoul, Seoul, Korea

<sup>\*\*\*\*\*</sup>Director, Nature & Space Inc., Seoul, Korea

<sup>\*\*\*\*\*</sup>Senior Researcher, Global Environment Research Division, NIER, Incheon, Korea

<sup>\*\*\*\*\*</sup>Director General, Global Environment Research Division, NIER, Incheon, Korea

### ABSTRACT

As the climate crisis leads to increasingly frequent extreme weather events such as heatwaves and cold spells. Climate change has adversely affected physical health of people globally and mental health of people in the assessed regions. Regional are formulation of climate crisis adaptation measures to mitigate vulnerability and enhance resilience against health impacts and natural disasters. MOTIVE and VESTAP are used at formulation of climate crisis adaptation measures, but there are limitations in using them by local governments as it is difficult to understand and use the model and is limited in interpreting the results. While MOTIVE and VESTAP are evaluated based on their specific objectives, existing literature suggests that they can be effectively employed in a complementary manner. In this study, the first objective is to explore the potential for integrated application by focusing on similar items within the health sector of MOTIVE and VESTAP. The second objective is to examine methods for linking MOTIVE values with VESTAP for the combined utilization of similar evaluation items. The results of this study are expected to contribute to the identification of future climate risks based on impact and vulnerability assessments, thereby supporting the formulation of adaptation measures at both Municipal-Level and Lower local Governments levels. Furthermore, regions demonstrating elevated scores across MOTIVE, VESTAP, and their integrated application may be classified as priority areas for the adaptation measures, thereby facilitating a reduction in the adverse impacts associated with climate crisis.

*Key words: Climate Crisis Adaptation Measure, Impact, Vulnerability, Risk, Climate Assessment Tools*

†Corresponding author : rev8001@korea.kr (National Institute of Environmental Research, Hwangyoung-ro 42, Seogu, Incheon, 22689, Korea. Tel. +82-32-560-7319)	ORCID	백지원 0000-0002-5422-2288	김재욱 0000-0002-3406-8236
		김지연 0000-0001-5999-2188	진형아 0009-0001-6573-1985
		노순아 0009-0001-3622-938X	오윤영 0000-0002-9115-814X
		박 찬 0000-0002-4994-6855	서도현 0000-0001-9528-2060
		김수련 0000-0002-2326-432X	유명수 0009-0007-1705-5197

Received: September 20, 2024 / Revised: October 7, 2024 1st, October 21, 2024 2nd / Accepted: October 28, 2024

## 1. 서론

기후위기로 인해 전국적으로 폭염, 한파, 집중호우, 산불 등 기후재해가 많이 발생하고 그로 인한 피해 현상이 지속적으로 증가하고 있다. 2023년 3월부터 때 이른 더위가 찾아왔고, 서울에는 88년 만에 9월 열대야가 발생하는 등 초가을 늦더위도 나타났다(KMA, 2024). 또한, 폭염으로 인해 온열질환자의 수가 전년 대비 80.2%(1,564명→2,818명)로 급격하게 증가하였고, 해수면 온도 상승으로 인해 해양 양식생물의 대량 폐사 피해가 발생하였다(Ministry Concerned, 2024). 여름철 호우로 인해 총 53명의 인명피해와 8,071억 원의 재산 피해가 발생하였다(KMA, 2024). 특히 재해연보에 따르면 2022년에 호우에 의한 재산피해는 332,559 백만 원으로 전체 피해액 중 56.11%를 차지하고 있다(MOIS, 2024). 기후위기로 인한 재해가 해가 갈수록 정도가 심해지고 있어, 이에 대한 대응책이 필요한 실정이다.

기후위기에 대한 취약성을 줄이고 자연재해 피해에 대한 적응역량과 회복력을 높이기 위해서 국가 및 지자체에서 ‘기후위기 적응대책’을 수립하고 있다. 국가는 「기후위기 대응을 위한 탄소중립·녹색성장 기본법」(이하, 탄소중립법) 제38조에 의거하여 기후위기 적응에 대한 대책을 5년마다 수립·시행하여야 한다(MOLEG, 2022). 2020년 제3차 국가 기후변화 적응대책(2021~2025)이 수립되었으며, 2023년 6월에 기존 정책을 보완한 제3차 국가 기후위기 적응 강화대책(2023~2025)이 수립되었다. 광역 및 기초지자체는 탄소중립법 제40조에 근거하여 지역적 특성 등을 고려하여 관할 구역의 기후위기 적응에 대한 대책을 5년마다 수립·시행하여야 한다(MOLEG, 2022). 현재까지 광역은 제3차, 기초는 제2차 적응대책 수립이 완료되었고 일부 기초지자체에서는 제3차 적응대책을 수립하고 있다.

광역 및 기초지자체는 환경부의 ‘지방 기후위기 적응대책 수립 및 이행평가 지침’에 따라 적응대책을 수립해야 한다. 수립 절차 중 지역 리스크 도출을 위해 지자체는 지역 영향과 취약성을 평가한다. 미래 기후변화에 따른 영향·취약성 평가를 위해서 신뢰도가 검증된 모형인 한국 기후변화 통합 영향평가 모형(이하, MOTIVE), 기후위기 취약성 평가도구(이하, VESTAP)를 활용할 수 있다(ME, 2023). 지자체에서 적응대책 수립 시 지역 특성에 맞게 MOTIVE, VESTAP을 활용하여 평가하고 있다.

IPCC에 따르면 기후변화는 전 세계 사람들의 신체적, 정신적 건강에 부정적인 영향을 미치고 있으며 적절히 대

응하지 못하면 인류에게 심각한 위협이 초래될 수 있다고 경고하였다(IPCC, 2023). 2022년 국민 인식 조사에 따르면 기후변화가 건강에 영향을 미친다고 생각하는 경우가 95.5%에 달했다(Chae, 2023). 이처럼 기후변화는 건강에 직·간접적인 영향을 미치므로 국가 및 지자체는 이에 대응하기 위해서 건강영향평가, 지자체 적응대책 등 관련 정책을 수립하고 있다.

지자체에서 적응대책 세부시행계획 수립 시 MOTIVE, VESTAP을 활용하지만, 평가 결과를 모두 계획 수립에 활용하기에는 제약이 존재할 수 있다. 두 평가도구는 RCP/SSP 시나리오 사용 유무, 시군구~1 km 단위의 공간해상도, 평가 방법, 활용 데이터 등에 차이가 있어, 산출되는 결과가 다른 경향을 보일 수 있기 때문이다. 두 평가도구의 차이에도 불구하고 영향·취약성이 심각한 정도가 유사한 경향을 보인다면, 효과적으로 리스크를 도출하고 우선적으로 적응대책 수립이 필요한 지역을 선별하는 등에 활용할 수 있다. 이와 같이 두 평가도구를 비교해 연계·통합하여 활용하면, 기후변화 취약지역의 우선순위를 도출하는 데 유용할 수 있음에도 불구하고 이에 관한 선행연구는 이루어진 바 없다.

본 연구에서는 첫 번째 MOTIVE, VESTAP의 건강 부분을 중심으로 유사 항목에 대하여 결과를 비교해 통합 활용 가능성을 검토한다. 두 번째, 영향·취약성 평가 순위의 경향이 유사한 항목에 대해서 MOTIVE의 결과를 VESTAP에 연계하여 통합 활용할 수 있는 방안을 제안한다. 연구 결과를 통해 광역 및 기초지자체에서 적응대책 수립 시 영향·취약성 평가 결과에 기반한 미래 기후 리스크 도출에 기여할 수 있을 것으로 기대한다.

## 2. 연구 내용 및 방법

### 2.1. 연구 내용

본 연구에서는 지자체 적응대책 수립 시 미래 영향·취약성을 평가하기 위해서 활용 중인 MOTIVE, VESTAP의 건강 부문 평가항목을 검토하였다. 건강 부문은 MOTIVE는 9개 항목, VESTAP은 15개 항목이 평가되고 있다. 그 중 NIER (2023a) 선행연구를 바탕으로 통합 활용이 가능한 폭염, 미세먼지, 오존, 병해충 네 가지 항목을 선정해 연구를 진행하였다(Table 1).

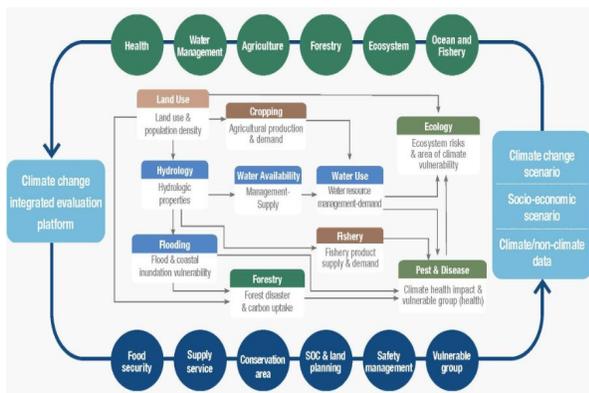
Table 1. Assessment item that can be linked to MOTIVE and VESTAP in health sector

MOTIVE		VESTAP	
Sector	Assessment item	Sector	Assessment item
Health	Heat wave related attributable mortality	Health	Heat wave
	Particulate Matter related attributable mortality		Particulate Matter
	Ozone related attributable mortality		Ozone
	Healthcare facility visits due to vector-borne (malaria) incidence		Diseases transmitted by insects and rodents
	Healthcare facility visits due to vector-borne (tsetse fly) incidence		

Source: NIER (2023a). Advancement of the assessment model of climate change impact and vulnerability (I)

2.1.1. MOTIVE

MOTIVE (Model Of inTEgrated Impact and Vulnerability Evaluation of climate change)는 한국환경산업기술원 R&D 과제를 바탕으로 개발된 평가도구이다 (NIER, 2023a). MOTIVE는 기후변화에 관한 정부간 협의체(Intergovernmental Panel on Climate Change, 이하, IPCC) 제5차 평가보고서(AR5)의 리스크(risk) 개념을 활용해 평가하고 있다. 6개 부문(건강, 물, 농업, 산림, 생태, 해양/수산) 내·간의 상호관계 고려하도록 개발되었으며 59개 평가항목을 통해 기후변화영향평가와 리스크 평가가 가능하다(Fig. 1, NIER NACCC, 2023). 기후변화 시나리오(RCP)와 비기후 DB를 바탕으로 목표연도(단기(2030년, 2040년), 중기(2050년), 장기(2080년))에 대한 정량적인 결과를 제공하고 있다. 또한, 인구 등 사회·경제 데이터는 미래 추세를 반영하여 활용하고 있다.



Source: KACCC, KEI (2021)

Fig. 1. A schematic diagram of MOTIVE

2.1.2. VESTAP

VESTAP (Vulnerability assESsment Tool build climate change Adaptation Plan)은 2010년 국립환경과학원에서 개발한 CCGIS, LCCGIS에 기반하여 2014년 한국환경연구원 이 사용자 편의성 증진을 위해 웹 기반으로 개발한 취약성 평가도구이다. VESTAP은 IPCC 제4차 평가보고서(AR4)의 취약성(Vulnerability) 개념을 활용해 기후노출, 민감도, 적응능력 지표를 활용해 평가하고 있다. RCP 시나리오(RCP 4.5/8.5)와 SSP 시나리오(SSP 1-2.6/2-4.5/3-7.0/5-8.5)가 탑재되어 있으며 RCP 시나리오는 10년, SSP 시나리오는 20년 주기로 취약성을 평가한다. 부문과 평가항목의 경우 RCP 시나리오는 7개 부문(건강, 국토/연안, 농축산, 산림/생태계, 해양/수산, 물, 산업/에너지) 57개 항목, SSP 시나리오는 6개 부문(물관리, 생태계, 국토/연안, 농수산, 건강, 산업-에너지) 45개 항목으로 구성되어 있다. 취약성 평가 결과는 노출, 민감도, 적응능력과 관련된 기후, 사회경제 등 각기 다른 자료를 표준화하여(Lee et al., 2015; Lim, 2016; Oh et al., 2016, 2017; Son et al., 2023; Yoon and Lee, 2017), 0 ~ 1 사이의 상대평가 결과를 제공하고 있다.

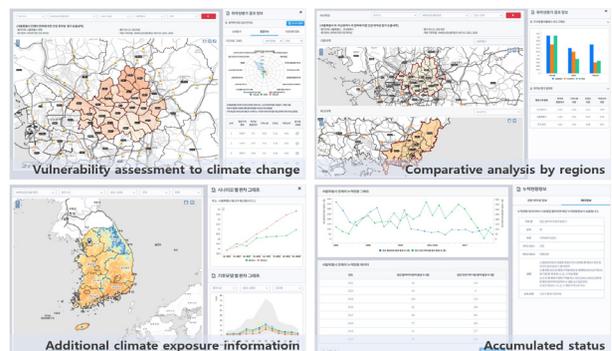


Fig. 2. VESTAP menu and function

### 2.2. 연구 방법

통합 활용 가능 여부 검토 및 연계·통합 활용 방안 제안을 위하여 관련 통계자료에 따라 피해가 가장 큰 지역을 대상으로 MOTIVE, VESTAP 평가를 진행했다. 또한, 두 평가도구의 시간해상도는 MOTIVE는 2030년, VESTAP은 2031년~2040년으로 하고 공간해상도는 광역지자체를 중심으로 살펴보았다.

두 평가도구의 통합 활용 가능성을 검토하기 위하여 폭염, 미세먼지, 오존, 병해충을 중심으로 MOTIVE, VESTAP 평가 결과를 도출하였다. MOTIVE는 정량적인 결과를 제공하고 VESTAP은 상대적인 결과를 제공하므로 결과를 직접적으로 비교하기에는 한계가 존재한다. 영향·취약성 평가 순위를 상, 중, 하 세 그룹으로 나누고 그룹별 포함되는 지자체 개수와 평가 순위를 종합적으로 고려하여 평가 결과의 경향의 유사성을 살펴보았다. 상, 중, 하 각 그룹에 공통으로 포함되는 지자체 개수가 많고, 영향·취약성이 높은 순서가 유사할수록 경향이 유사하다고 판단하였다. 영향·취약성이 동시에 높게 나타난 지역은 재해 발생 확률이 높고(Choo and Yoon, 2024), 집중적으로 관리가 필요한 지역이다.

영향·취약성 평가 결과가 유사한 항목을 대상으로 연계·통합 활용 방안을 검토하기 위하여 MOTIVE의 결과값을 VESTAP의 민감도 지표로 활용하여 평가하였다. VESTAP에 기후 시나리오 외 인구 등 미래 추계값을 반영한다면 기후변화로 인한 사회·경제에 미치는 영향 정도를 파악할 수 있다(Mahabadi et al., 2023). 인구 추계를 반영한 MOTIVE의 결과값을 VESTAP의 민감도 지표로 활용하여 취약성을 평가하고, VESTAP의 개별 결과를 비교하여 활용 가능한 방안을 제안하였다.

## 3. 연구 결과 및 고찰

### 3.1. MOTIVE-VESTAP 분석 결과

#### 3.1.1. 폭염

2024년 전국 폭염일수는 30.1일로 2018년 이후 전국적으로 두 번째로 가장 긴 폭염일수를 기록하였다(KMA, 2024). 특히 9월 10일 서울에선 사상 첫 9월 폭염 경보가 발표되고, 기상관측 이래 가장 늦은 열대야가 나타났다(Park, 2020). 특히 올해 폭염일수가 33일로 기록되었는데, 이는 2023년 기록(19일)과 비교했을 때 약 2배 정도

차이가 나타났다. 이에 서울시를 대상으로 영향·취약성을 평가하였다.

MOTIVE는 폭염을 평가할 때, 일 최저/최고기온, 건강 영향(총 사망, 심혈관 사망, 호흡기 사망) 기여 인구 수를 활용한다(KEI, 2020). MOTIVE의 폭염에 의한 총 기여사망자수 평가 결과 강서수가 39.19명, 송파구가 36.11명, 강동구가 28.36명으로 영향이 높았고, 강북구가 8.04명, 중구가 7.41명, 종로구가 4.51명으로 영향이 낮게 도출되었다(Fig. 3, Table 2).

VESTAP은 기후노출 지표로 HWDI (Heat Wave Duration Index, 열파지속지수), 일 최저기온, 일 최고기온, 민감도 지표로 인구수/인구비율, 사망자 수, 적응능력 지표로 GRDP (Gross Regional Domestic Product, 지역내총생산), 재정자립도 등을 사용한다(KEI, 2022). VESTAP의 폭염에 의한 건강 취약성 평가결과 강서구, 송파구가 상대적으로 가장 취약한 것으로 나타났고, 도봉구, 종로구가 가장 취약하지 않은 것으로 나타났다(Fig. 4, Table 3).

MOTIVE, VESTAP 건강 부문의 폭염 항목의 결과를 비교했을 때, 2030년대 강서구, 송파구의 영향·취약성이 가장 높고, 중구와 종로구에 영향·취약성이 가장 낮은 것으로 도출되었다. 총 25개 지자체를 대상으로 영향·취약성 결과를 상, 중, 하 세 개의 그룹으로 구분했을 때 상은 8개 중 4개, 중은 9개 중 4개, 하는 8개 중 6개의 지자체가 공통으로 포함되었다. 또한, 영향·취약성이 가장 높은 지자체와 가장 낮은 지자체 순위가 거의 같았다. 이는 폭염에 대한 MOTIVE, VESTAP 평가 시 활용하는 기상 데이터(일 최저/최고기온)로 인하여 유사한 영향·취약성 평가 결과를 나타낸 것으로 판단된다.

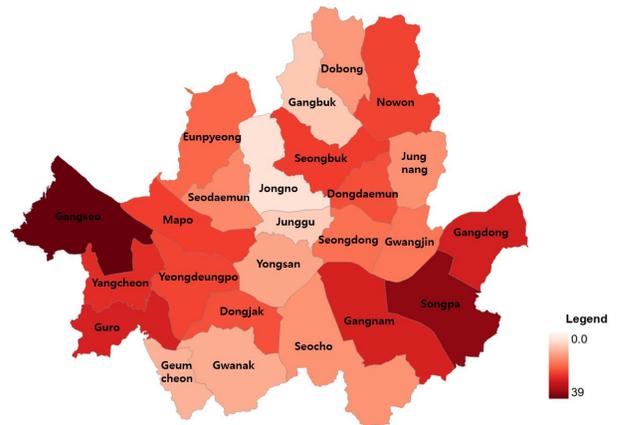


Fig. 3. MOTIVE results for heat wave in Seoul (RCP 8.5, 2030)

Table 2. MOTIVE results for heat wave in Seoul (RCP 8.5, 2030)

Group	Index	Administrative District	Mortality
High	1	Gangseo-gu	39.19
	2	Songpa-gu	36.11
	3	Gangdong-gu	28.36
	4	Guro-gu	28.20
	5	Gangnam-gu	27.96
	6	Yangcheon-gu	26.47
	7	Seongbuk-gu	24.37
	8	Mapo-gu	24.24
Medium	9	Nowon-gu	23.61
	10	Yeongdeungpo-gu	23.52
	11	Dongdaemun-gu	22.39
	12	Dongjak-gu	22.26
	13	Eunpyeong-gu	19.83
	14	Seongdong-gu	18.64
	15	Gwangjin-gu	18.04
	16	Seodaemun-gu	15.81
	17	Jungnang-gu	14.95
Low	18	Seocho-gu	14.58
	19	Dobong-gu	13.76
	20	Yongsan-gu	12.53
	21	Gwanak-gu	11.59
	22	Geumcheon-gu	10.90
	23	Gangbuk-gu	8.04
	24	Jung-gu	7.41
	25	Jongno-gu	4.51

Table 3. VESTAP results for heat wave in Seoul (RCP 8.5, 2031 ~ 2040)

Group	Index	Administrative District	Vulnerability result
High	1	Gangseo-gu	0.44
	2	Songpa-gu	0.43
	3	Dongdaemun-gu	0.42
	4	Yangcheon-gu	0.39
	5	Yeongdeungpo-gu	0.38
	6	Seongdong-gu	0.37
	7	Guro-gu	0.36
	8	Gwangjin-gu	0.36
Medium	9	Gangnam-gu	0.36
	10	Eunpyeong-gu	0.35
	11	Dongjak-gu	0.34
	12	Jungnang-gu	0.33
	13	Gangdong-gu	0.33
	14	Mapo-gu	0.32
	15	Seocho-gu	0.30
	16	Gwanak-gu	0.28
	17	Nowon-gu	0.27
Low	18	Gangbuk-gu	0.27
	19	Yongsan-gu	0.27
	20	Seongbuk-gu	0.25
	21	Geumcheon-gu	0.25
	22	Seodaemun-gu	0.22
	23	Jung-gu	0.19
	24	Dobong-gu	0.13
	25	Jongno-gu	0.06



Fig. 4. VESTAP results for heat wave in Seoul (RCP 8.5, 2031 ~ 2040)

### 3.1.2. 미세먼지

대기환경연보에 따르면 17개 시·도의 미세먼지 농도를 인구 가중평균하여 합산한 결과 서울( $18\mu\text{g}/\text{m}^3$ ), 인천( $19\mu\text{g}/\text{m}^3$ ), 전북( $19\mu\text{g}/\text{m}^3$ ), 경기( $20\mu\text{g}/\text{m}^3$ ), 충북( $20\mu\text{g}/\text{m}^3$ ), 충남( $20\mu\text{g}/\text{m}^3$ )이 높은 편으로 나타났다(NIER, 2023b). 특히 충청남도는 도내 화력발전소 등으로 미세먼지와 2차 미세먼지 등에 대한 우려가 높다(Pyo et al., 2016). 이에 미세먼지에 의한 건강 부문 영향·취약성 평가는 충청남도를 대상으로 진행하였다.

MOTIVE에는 일평균 PM10, 총 사망, 심혈관질환 사망, 호흡기질환 사망에 대한 기여인구 수 데이터를 활용

해 미래 영향을 평가한다(KEI, 2020). MOTIVE의 미세먼지로 인한 총 기여사망자수 평가 결과, 천안시 170.62명, 아산시 83.28명으로 피해 영향이 가장 높게 나타났다. 그에 비해 금산군 16.45명, 계룡시 12.98명, 청양군 10.29명으로 영향이 가장 낮게 도출되었다(Fig. 5, Table 4).

미세먼지 취약성을 평가하기 위해서 VESTAP에 활용된 데이터는 기후노출(일 최고기온 평균값, 시간미세먼지 농도, 연평균 미세먼지 농도), 민감도(인구수 및 인구비율, 사망자 수), 적응능력(GRDP(Gross Regional Domestic Product, 지역내총생산), 인구당 응급의료 기관수, 재정자립도 등)이다(KEI, 2022). VESTAP의 미세먼지에 의한 건

강 취약성 평가 결과 천안시, 아산시가 상대적으로 높은 취약성을 보였고, 청양군, 서산시, 태안군이 상대적으로 가장 취약하지 않은 것으로 나타났다(Fig. 6, Table 5).

MOTIVE, VESTAP 모두 충청남도의 천안시와 아산시가 미세먼지에 따른 영향·취약성이 높은 것으로 나타났다. 15개 지자체를 상, 중, 하, 세 그룹으로 비교했을 때, 상은 5개 중 3개, 중은 5개 중 2개, 하는 5개 중 3개의 지자체가 공통으로 각 그룹에 포함되는 것으로 나타났다. 다소 다른 영향·취약성 결과를 보이는 지자체는 금산군, 계룡시로 나타났다. 이는 MOIVE와 VESTAP에 활용된 기상 및 미



Fig. 5. MOTIVE results for particulate matter (PM<sub>10</sub>) in Chungcheongnam-do (RCP 8.5, 2030)

Table 4. MOTIVE results for particulate matter (PM<sub>10</sub>) in Chungcheongnam-do (RCP 8.5, 2030)

Group	Index	Administrative District	Mortality
High	1	Cheonan-si	170.62
	2	Asan-si	83.28
	3	Seosan-si	53.32
	4	Dangjin-si	47.31
	5	Nonsan-si	38.65
Medium	6	Gongju-si	38.48
	7	Boryeong-si	34.84
	8	Hongseong-gun	28.64
	9	Yesan-gun	27.88
	10	Buyeo-gun	23.59
Low	11	Taeon-gun	21.72
	12	Seocheon-gun	19.11
	13	Geumsan-gun	16.45
	14	Cheongyang-gun	10.29
	15	Gyeryong-si	12.98



Fig. 6. VESTAP results for particulate matter in Chungcheongnam-do (RCP 8.5, 2031 ~ 2040)

Table 5. VESTAP results for particulate matter in Chungcheongnam-do (RCP 8.5, 2031 ~ 2040)

Group	Index	Administrative District	Vulnerability result
High	1	Cheonan-si	0.52
	2	Asan-si	0.37
	3	Nonsan-si	0.35
	4	Gongju-si	0.33
	5	Geumsan-gun	0.29
Medium	6	Gyeryong-si	0.24
	7	Dangjin-si	0.22
	8	Yesan-gun	0.19
	9	Buyeo-gun	0.16
	10	Hongseong-gun	0.10
Low	11	Seocheon-gun	0.09
	12	Boryeong-si	0.08
	13	Cheongyang-gun	0.07
	14	Seosan-si	0.06
	15	Taeon-gun	0.01

세면지 농도 계산 방법론 등에 차이가 있어 유사하지 않은 결과가 도출된 것으로 판단된다. 그러나 천안시는 고속도로, 철도 등 주된 교통 요충지로서 현재와 미래 미세먼지 농도의 영향·취약성이 높게 나타난 것으로 파악된다 (Park, 2018).

3.1.3. 오존

대기환경연보에 따르면 전국적으로 2021년에 오존주의보 발령 일수가 67일로 2017년 이후로 가장 많은 횟수로 기록되었다(NIER, 2023b). 2024년 데이터를 살펴봤을 때, 오존주의보가 4월에 첫 발령이 나타나 역대 가장 빨랐으며, 특히 서울에 오존주의보가 54회로 역대 최다 기록을 갱신했다(SIHE, 2024). 오존에 의한 영향·취약성 평가는 서울시 대상으로 진행하였다.

미래 오존 영향을 평가하기 위해서 MOTIVE에 활용된 데이터는 일평균 오존농도, 일최고기온, 기여사망자수(총 사망, 심혈관질환 사망, 호흡기질환 사망)이다(KEI, 2020). MOTIVE의 오존으로 인한 총 기여사망자수 평가 결과, 송파구가 85.4명으로 사망자 수가 가장 높았고, 노원구 76.3명, 강서구 72.4명, 강남구 71.2명으로 영향이 높게 나타났다. 영향이 낮게 도출된 구는 금천구 30.8명, 용산구 30.7명, 종로구 21.4명, 중구가 16.6명으로 기여사망자 수가 가장 낮게 도출되었다(Fig. 7, Table 6).

VESTAP에 활용된 데이터는 기후노출(오존주의보 발령횟수, 일최고기온의 평균값, 시간 오존농도), 민감도(14세 이하/65세 이상 인구, 기초생활수급자 비율, 심혈관질환 사망자 수 등), 적응능력(GRDP (Gross Regional Domestic Product, 지역내총생산), 건강보험적용 인구비



Fig. 7. MOTIVE results for O<sub>3</sub> in Seoul (RCP 8.5, 2030)

율, 재정자립도 등)이다(KEI, 2022). VESTAP의 오존에 의한 건강 취약성 평가결과 노원구, 중랑구, 도봉구가 상대적으로 가장 취약성이 높았고, 영등포구, 용산구 중구보다 상대적으로 오존에 의한 건강 취약성이 낮은 것으로 나타났다(Fig. 8, Table 7).

MOTIVE, VESTAP의 영향·취약성 평가 결과를 25개 지자체를 대상으로 세 개(상, 중, 하)의 그룹으로 구분했을 때, 상은 8개 중 3개, 중은 9개 중 2개, 하는 8개 중 4개의 지자체가 공통으로 포함되는 것으로 나타났는데, 각 그룹별로 공통으로 포함되는 지자체의 개수가 50% 이하이다. 또한, 영향·취약성이 높거나 낮은 지역의 순위까지 고려했을 때, 영향·취약성 평가 결과가 유사하지 않았다. MOTIVE와 VESTAP에 활용된 기상 및 오존농도 데이터 산출 방법론이 달라 유사하지 않은 결과가 도출된 것으로 판단된다.

Table 6. MOTIVE results for O<sub>3</sub> in Seoul (RCP 8.5, 2030)

Group	Index	Administrative District	Mortality
High	1	Songpa-gu	85.4
	2	Nowon-gu	76.3
	3	Gangseogu	72.4
	4	Gangnam-gu	71.2
	5	Gwanak-gu	66.6
	6	Yangcheon-gu	62.9
	7	Eunpyeong-gu	61.3
	8	Gangdong-gu	61.3
Medium	9	Seongbuk-gu	61.2
	10	Seocho-gu	54.3
	11	Guro-gu	53.3
	12	Jungnang-gu	53.3
	13	Yeongdeungpo-gu	51.1
	14	Dongjak-gu	50.5
	15	Mapo-gu	49.2
	16	Gwangjin-gu	46.9
	17	Dobong-gu	46.1
Low	18	Dongdaemun-gu	45.8
	19	Gangbuk-gu	43.4
	20	Seodaemun-gu	40.7
	21	Seongdong-gu	38.6
	22	Geumcheon-gu	30.8
	23	Yongsan-gu	30.7
	24	Jongno-gu	21.4
	25	Jung-gu	16.6



Fig. 8. VESTAP results for O<sub>3</sub> in Seoul (RCP 8.5, 2031 ~ 2040)

Table 7. VESTAP results for O<sub>3</sub> in Seoul (RCP 8.5, 2031 ~ 2040)

Group	Index	Administrative District	Vulnerability result
High	1	Nowon-gu	0.41
	2	Jungnang-gu	0.40
	3	Dobong-gu	0.32
	4	Songpa-gu	0.30
	5	Gangbuk-gu	0.30
	6	Eunpyeong-gu	0.29
	7	Dongdaemun-gu	0.28
	8	Gwangjin-gu	0.26
Medium	9	Seongbuk-gu	0.26
	10	Gangdong-gu	0.25
	11	Gangseo-gu	0.20
	12	Gangnam-gu	0.20
	13	Gwanak-gu	0.11
	14	Seongdong-gu	0.11
	15	Seodaemun-gu	0.09
	16	Guro-gu	0.08
	17	Yangcheon-gu	0.08
Low	18	Seocho-gu	0.06
	19	Dongjak-gu	0.05
	20	Geumcheon-gu	0.05
	21	Mapo-gu	0.05
	22	Jongno-gu	0.05
	23	Yeongdeungpo-gu	0.02
	24	Yongsan-gu	0.00
	25	Jung-gu	-0.04

3.1.4. 병해충(말라리아)

병해충 중 말라리아 발생에 대한 최근 5년간(2018 ~ 2022년) 통계자료를 살펴보면, 경기도가 1,182명으로 전체 환자의 59.2%를 차지하고 있다(Kim et al., 2023). 이에 경기도를 대상으로 말라리아의 영향·취약성을 평가하였다.

병해충(말라리아)를 평가하기 위해서 MOTIVE는 기온(월평균 일 최고기온, 월평균 강수량), 논면적 비율, 건강영향인구 자료, 변수별 계수값을 활용한다(KEI, 2020). MOTIVE의 매개체(말라리아)로 인한 의료기관 방문 건수(십만 명당) 평가결과 김포시 44.38건, 화성시 44.15건, 고양시 39.90으로 가장 높게 결과가 도출되었다. 과천시와 광주시는 각각 9.28건 9.2건으로 영향이 가장 낮게 도출되었다(Fig. 9, Table 8).

현재 VESTAP의 곤충 및 설치류에 의한 전염병 건강취약성에 활용되는 전염병은 말라리아와 쯤쯤가무시 두 종류가 포함되어 있다. 본 연구에서는 말라리아를 기준으로 평가가 진행되어야 했으므로, 민감도 지표에 ‘연간 쯤쯤가무시증 환자 발생 수’를 삭제하고 ‘말라리아 환자 발생 수’를 새로운 평가항목으로 생성하여 결과를 도출했다. 다만 말라리아 환자 발생 수에는 기존 말라리아와 쯤쯤가무시 두 종류가 합쳐진 평가지표와 동일한 가중치를 사용하였다. 평가를 위해 VESTAP에서 활용된 데이터는 기후노출(강수량, 최고기온, 최저기온), 민감도(인구, 수인성 질환자 수), 적응능력(재정자립도 등)이다(KEI, 2022).

평가결과, 고양시, 부천시, 파주시가 상대적으로 가장 취약성이 높은 것으로 나타났다. 반면, 이천시, 가평군, 연

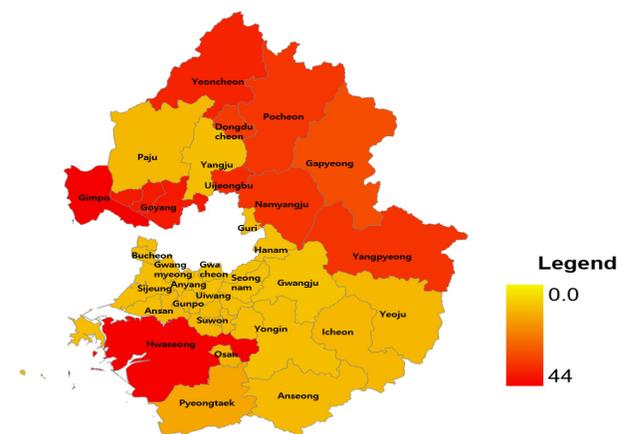


Fig. 9. MOTIVE results for healthcare facility visits due to vector-borne (malaria) incidence in Gyeonggi-do (RCP 8.5, 2030)

Table 8. MOTIVE results for healthcare facility visits due to vector-borne (malaria) incidence in Gyeonggi-do (RCP 8.5, 2030)

Group	Index	Administrative District	Mortality
High	1	Gimpo-si	44.38
	2	Hwaseong-si	44.15
	3	Goyang-si	39.90
	4	Yeoncheon-gun	38.17
	5	Uijeongbu-si	36.53
	6	Yangpyeong-gun	35.13
	7	Namyangju-si	35.00
	8	Pocheon-si	34.59
	9	Dongducheon-si	33.53
	10	Gapyeong-gun	30.29
Medium	11	Pyeongtaek-si	14.24
	12	Osan-si	11.74
	13	Yeosu-si	11.16
	14	Icheon-si	11.14
	15	Paju-si	11.03
	16	Gunpo-si	10.71
	17	Anseong-si	10.70
	18	Suwon-si	10.62
	19	Bucheon-si	10.28
	20	Gwangmyeong-si	10.27
Low	21	Guri-si	10.19
	22	Siheung-si	9.92
	23	Ansan-si	9.80
	24	Uiwang-si	9.72
	25	Yongin-si	9.71
	26	Yangju-si	9.67
	27	Hanam-si	9.60
	28	Seongnam-si	9.56
	29	Anyang-si	9.50
	30	Gwacheon-si	9.28
	31	Gwangju-si	9.20

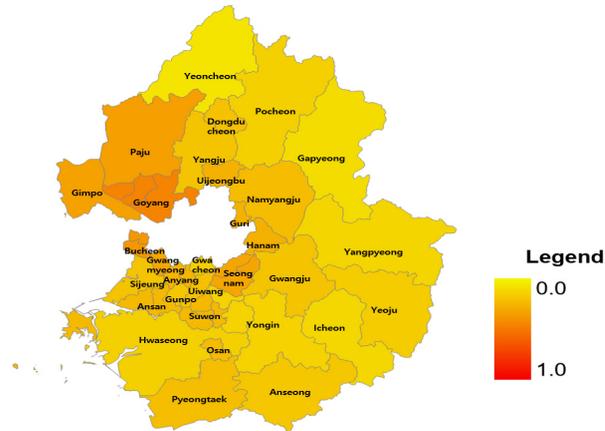


Fig. 10. VESTAP results for diseases transmitted by insects and rodents (malaria) in Gyeonggi-do (RCP 8.5, 2031 ~ 2040)

Table 9. VESTAP results for diseases transmitted by insects and rodents (malaria) in Gyeonggi-do (RCP 8.5, 2031 ~ 2040)

Group	Index	Administrative District	Vulnerability result
High	1	Goyang-si	0.46
	2	Bucheon-si	0.38
	3	Paju-si	0.35
	4	Gimpo-si	0.34
	5	Seongnam-si	0.32
	6	Gwangmyeong-si	0.31
	7	Hanam-si	0.28
	8	Uijeongbu-si	0.28
	9	Guri-si	0.28
	10	Anyang-si	0.26
Medium	11	Suwon-si	0.24
	12	Ansan-si	0.24
	13	Osan-si	0.23
	14	Namyangju-si	0.23
	15	Pyeongtaek-si	0.22
	16	Uiwang-si	0.21
	17	Dongducheon-si	0.21
	18	Siheung-si	0.20
	19	Yangju-si	0.20
	20	Gwangju-si	0.20
Low	21	Gunpo-si	0.19
	22	Anseong-si	0.19
	23	Yeosu-si	0.17
	24	Hwaseong-si	0.15
	25	Gwacheon-si	0.15
	26	Pocheon-si	0.15
	27	Yongin-si	0.14
	28	Yangpyeong-gun	0.13
	29	Icheon-si	0.12
	30	Gapyeong-gun	0.10
	31	Yeoncheon-gun	0.07

천군이 말라리아에 의한 건강 취약성이 가장 취약하지 않은 것으로 도출되었다(Fig. 10, Table 9).

영향·취약성 평가 결과, 공통적으로 휴전선 인근에 있는 파주시, 연천군, 김포시, 고양시의 결과가 높은 것으로 나타났다. 실제 말라리아 환자는 휴전선 인근에서 많이 발생하였다(KDCA, 2024a). 그 외 총 31개 지자체에 대한 영향·취약성 평가 결과를 세 개의 그룹으로 구분하였을 때 각 그룹에 공통으로 포함되는 지자체의 개수는 상은 10개 중 3개, 중은 11개 중 4개, 하가 10개 중 2개로서 공통으로 포함되는 지자체는 30% 미만이며, 영향·취약성이 높은 지역과 낮은 지역의 순위를 종합적으로 고려할 때, 대체로 결과의 경향성이 일치하지 않았다. 말라리아 서식 환경은 논, 수풀, 습지 등 깨끗한 물이 고인 지역에서 주로 발생하는데 MOTIVE는 논 면적을 반영한 평가를 진행

하고, VESTAP은 반영하지 않다 보니 유사하지 않은 경향이 도출된 것으로 판단된다(KDCA, 2024b).

### 3.2. MOTIVE-VESTAP 연계·통합 활용 결과

네 개의 평가항목에 대한 영향·취약성 평가 결과를 검토하였을 때, 폭염의 영향·취약성 평가 경향이 가장 유사한 것으로 나타났다. 지자체 적응대책 내 활용성을 고려해 영향·취약성 결과가 유사한 폭염을 대상으로 연계·통합 활용을 평가하였다.

선행연구에 따르면 MOTIVE의 평가결과를 VESTAP의 민감도 지표로 연계 활용할 수 있다(NIER, 2023a). VESTAP ‘폭염에 의한 건강 취약성’의 민감도 지표로 활용되는 데이터는 ①14세 이하 인구, ②65세 이상 인구, ③기초생활수급자 인구 비율, ④독거노인(65세이상) 비율, ⑤심혈관 질환 사망자 수, ⑥열사병/일사병으로 인한 사망자 수 총 여섯 가지이다. 그 중 ⑤심혈관질환 사망자 수, ⑥열사병/일사병으로 인한 사망자 수, 두 지표를 MOTIVE의 ‘폭염으로 인한 총 기여사망자수’로 대체했다(NIER, 2023a). MOTIVE는 미래 인구추계 자료를 활용해 미래 영향을 평가하다 보니 VESTAP의 한계점을 보완할 수 있을 것이다. 미래 인구추계 자료 활용 시 기여율 증가뿐 아니라 미래 민감도에 큰 영향을 끼치므로 이를 반영한 연계·통합 활용을 평가하였다(Ha and Shin, 2012; Lim et al., 2023).

연계·통합 활용 평가 결과 송파구, 강서구, 동대문구가 가장 취약성이 높았고, 종로구, 도봉구, 중구가 가장 취약성이 낮은 것으로 나타났다(Fig. 11, Table 10). 특히, 앞선 VESTAP 개별 평가 결과(Fig. 4, Table 3)와 연계·통합 활용 결과를 비교했을 때 강남구(9순위→6순위)와 강동구(13순위→9순위)는 상대적으로 더 취약하고, 은평구(10순위→13순위)와 관악구(16순위→19순위)는 상대적으로 덜 취약한 것으로 나타나 대체지표를 사용하기 전과 다소 다른 결과를 보였다. 미래에는 폭염에 대한 취약 인구가 변화하여 적응대책이 필요한 지역의 우선순위가 바뀔 수 있음을 의미한다.

현재 VESTAP 민감도, 적응능력 데이터는 통계청 등 부처에서 승인된 자료를 활용하고 있는데, MOTIVE 결과 값과 같이 미래 건강영향 기여 인구 수를 활용했을 때 미래의 다양한 변화에 대비가 가능하고 정책수립과 관련해서 주요한 의사결정을 지원해 줄 수 있을 것이다(Song et al., 2023). 또한, 연계·통합 활용은 지자체에서 적응대책 수립 시 지역 리스크 도출에 활용이 가능할 것으로 사료

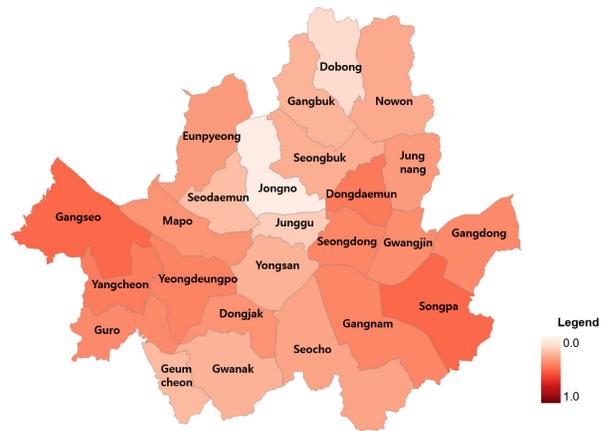


Fig. 11. VESTAP results for heat wave in Seoul use MOTIVE result (RCP 8.5, 2031 ~ 2040)

Table 10. VESTAP results for heat wave in Seoul use MOTIVE result (RCP 8.5, 2031 ~ 2040)

Group	Index	Administrative District	Vulnerability result
High	1	Gangseo-gu	0.50
	2	Songpa-gu	0.50
	3	Dongdaemun-gu	0.45
	4	Yangcheon-gu	0.44
	5	Yeongdeungpo-gu	0.42
	6	Gangnam-gu	0.41
	7	Seongdong-gu	0.41
	8	Guro-gu	0.40
Medium	9	Gangdong-gu	0.40
	10	Gwangjin-gu	0.39
	11	Dongjak-gu	0.37
	12	Mapo-gu	0.37
	13	Eunpyeong-gu	0.35
	14	Jungnang-gu	0.35
	15	Seocho-gu	0.32
	16	Nowon-gu	0.30
	17	Seongbuk-gu	0.29
Low	18	Yongsan-gu	0.28
	19	Gwanak-gu	0.28
	20	Gangbuk-gu	0.27
	21	Geumcheon-gu	0.25
	22	Seodaemun-gu	0.24
	23	Jung-gu	0.19
	24	Dobong-gu	0.14
	25	Jongno-gu	0.05

된다. MOTIVE, VESTAP의 영향·취약성 평가 결과와 연계·통합 활용 결과가 중복되는 지역은 우선적으로 적응대책이 계획되어야 하고 지속적으로 이행 모니터링이 필요한 곳으로 분류가 가능하다.

#### 4. 결론

본 연구는 광역 및 기초지자체 적응대책 세부시행계획 수립 시 영향·취약성 평가 결과에 기반한 미래 지역 리스크 도출을 보다 적극적으로 지원하기 위해서 건강 부문을 대상으로 MOTIVE, VESTAP 통합 활용 가능성을 검토하고 연계·통합 활용 방안을 제안하였다. 통합 활용 가능성을 도출하기 위해서 MOTIVE, VESTAP의 폭염, 미세먼지, 오존, 병해충(말라리아) 네 가지 항목을 평가해 결과의 유사성을 검토하였다. 폭염 항목이 MOTIVE, VESTAP 평가 결과가 유사하게 도출되어 해당 항목에 대하여 MOTIVE의 평가 결과를 VESTAP의 취약성 지표로 연계·통합하여 취약성 결과를 비교하였다.

지자체 기후위기 리스크 도출 시 영향·취약성 평가에 활용되는 주요 데이터가 유사할 경우 두 도구의 연계·통합 활용이 적극적으로 가능한 것으로 판단된다. 또한, 연계·통합 활용 전후의 다른 결과를 활용하면, 보다 기후변화에 따른 다양한 환경 변화에 대응하여 취약지역을 선정하는 데 도움이 될 것으로 판단된다.

이번 연구에서는 건강 부문의 일부 평가항목에 대하여 연계·통합 활용 방안을 검토하였지만, 후속 연구에서는 부문 및 항목을 확대하여 연계·통합 활용 방안 검토가 필요하다. 본 연구에서 도출한 MOTIVE-VESTAP 연계·통합 활용을 지자체에서 활용하기 위해서는 적응대책 담당자가 이해하기 쉬운 가이드라인 개발이 필요하다. 또한, 현재 MOTIVE, VESTAP은 지자체 적응대책 세부시행계획을 지원하고 있지만, 연계·통합 활용 방안에 관한 추가 연구가 이루어져 두 평가도구의 활용성이 확대된다면 국정종합계획, 국가환경종합계획 등 국가 및 지자체의 다양한 계획에서 기후위기 적응 전략 마련에 기여할 수 있을 것으로 생각된다.

#### 사사

본 논문은 환경부의 재원으로 국립환경과학원의 지원을 받아 수행하였습니다(NIER-2024-01-01-007).

#### References

- Chae S. 2023. National health adaptation strategies for climate crisis: Issues and suggestions (in Korean with English abstract). *Health Welf Forum* 320: 36-49. doi: 10.23062/2023.06.4
- Choo M, Yoon DK. 2024. A meta-analysis of the relationship between disaster vulnerability and disaster damage. *Int J Disaster Risk Reduct* 102: 104302. doi: 10.1016/j.ijdrr.2024.104302.
- Ha JS, Shin YS. 2012. The study of factors influencing in estimation for future disease burden: Focusing on high temperature resulted by climate change (in Korean with English abstract). Seoul, Korea: Korea Environment Institute. Working Paper 2012-10.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). 2023. Climate change 2022 - Impacts, adaptation and vulnerability: Working group II contribution to the sixth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge: Cambridge University Press. doi: 10.1017/9781009325844
- KACCC, KEI (Korea Adaptation Center for Climate Change, Korea Environment Institute). 2021. Korean model of integrated impact and vulnerability evaluation of climate change (2021) (eng). Leaflet. [https://kaccc.kei.re.kr/home/board.es?mid=a10502020000&bid=0007&list\\_no=3233&act=view](https://kaccc.kei.re.kr/home/board.es?mid=a10502020000&bid=0007&list_no=3233&act=view)
- KDCA (Korea Disease Control and Prevention Agency). 2024a. World malaria card news. [https://kdca.go.kr/gallery.es?mid=20503010000&bid=0002&list\\_no=146107&act=view](https://kdca.go.kr/gallery.es?mid=20503010000&bid=0002&list_no=146107&act=view)
- KDCA (Korea Disease Control and Prevention Agency). 2024b. Malaria management guidelines for 2024. Cheongju, Korea: Author.
- KEI (Korea Environment Institute). 2022. VESTAP user's manual. Sejong, Korea: Author.
- Kim HJ, Lee S, Shin N-R, Hwang K. 2023. Status of malaria and diagnosis rate in the Republic of Korea, 2018-2022 (in Korean with English abstract). *Public Health Wkly Rep* 16(26): 852-866. doi: 10.56786/

- PHWR.2023.16.26.3
- KMA (Korea Meteorological Administration). 2024. Korea Meteorological Administration published 2023 abnormal climate report jointly by the ministry concerned -After a long weather drought, the damage caused by polarized weather phenomena such as torrential rain and extreme temperature fluctuations continues-. <https://kma.go.kr/kma/news/press.jsp?mode=view&num=1194348>
- Lee S, Jung Y, Yoon J, Pyo J, Yoon S, Kim T, Ahn J. 2015. Development of prototype for evaluation of vulnerability in climate change in Chungcheong province. Hongseong, Korea: Seohaean Research Institute. Center Project(Climate Change) 2015-01.
- Lim CH. 2016. The vulnerability assessment forest fire in Jeju to climate change using the VESTAP (in Korean with English abstract). *Fire Sci Eng* 30(1): 57-62. doi: 10.7731/KIFSE.2016.30.1.057
- Lim Y, Park J, Kim OS. 2023. Projection of mortality risk of elderly to high ambient temperature under climate change scenarios in Korea during the 2050s and 2090s (in Korean with English abstract). *Landscape Geogr* 33(3): 51-64. doi: 10.35149/jakpg.2023.33.3.004
- Mahabadi SA, Bagheri A, Bavani ARM. 2023. Reducing vulnerability to the climate change - Reversibility and transformation adopting in a hydro-economic model. *Environ Dev* 47: 100893. doi: 10.1016/j.envdev.2023.100893
- ME (Ministry of Environment). 2023. Guideline of evaluate and formulation of regional adaptation measures for climate crisis. Sejong, Korea: Author.
- Ministry Concerned. 2024. Abnormal climate report 2023. Sejong, Korea: Author.
- MOIS (Ministry of the Interior and Safety). 2024. Disaster annual report. Sejong, Korea: Author.
- MOLEG (Ministry of Government Legislation). 2021. Framework act on carbon neutrality and green growth for coping with climate crisis. Sejong, Korea: Author. Act No. 18469.
- National Climate Crisis Adaptation Information Portal. 2024. MOTIVE. <https://kaccc.kei.re.kr/home/menu.us?mid=a10305030000>
- NIER (National Institute of Environmental Research). 2023a. Advancement of the assessment model of climate change impact and vulnerability (I). Incheon, Korea: Author.
- NIER (National Institute of Environmental Research). 2023b. Annual report of air quality in Korea 2022. Incheon, Korea: Author.
- NIER NACCC (National Institute of Environmental Research National Adaptation Center for Climate Crisis). 2023. Assessment tool for impact and vulnerability. <https://nier.go.kr/naccc/front/contents/cntntsView.do?cntntsSn=140>
- Oh KY, Lee MJ, Han DE. 2016. Development of web-based supporting tool (VESTAP) for climate change vulnerability assessment in lower and municipal-level local governments (in Korean with English abstract). *J Korean Assoc Geogr Inf Stud* 19(1): 1-11. doi: 10.11108/kagis.2016.19.1.001
- Oh KY, Lee MJ, Jeon SW. 2017. Development of the Korean climate change vulnerability assessment tool (VESTAP)—Centered on health vulnerability to heat waves. *Sustainability* 9(7): 1103. doi: 10.3390/su9071103
- Park BG. 2018. Cheonan city to reduce particulate matter 20% by 2025. *Chungcheong Daily News*; <https://www.ccdailynews.com/news/articleView.html?idxno=985555>
- Park SK. 2020. Analysis of the health effects of high-concentration ozone by climate change: A comparison of air environment standards for 1 hour & 8 hours. Poster session presented at: Korean Society of Climate Change Research Conference in the Second Half of 2020; Nov 4-6; Jeju.
- Pyo JK, Lee SS, Kwon JS. 2016. Current status of fine particulate matter emissions in South Chungcheong province and policy proposal. Gongju, Korea: Chunnam Institute. ChungNam Climate Information Briefing No. 12.
- SIHE (Seoul Research Institute of Public Health and Environment). 2024. Air quality analysis results for April 2024. Seoul, Korea: Author.

- Son J, Song C, Hong M, Lee W-K, Heo M, Ko YJ. 2023. Analysis of detailed action plans for climate change adaptation measures and the 6th regional forest plans with suggestion for improvements (in Korean with English abstract). *J Clim Change Res* 14(5): 543-559. doi: 10.15531/KSCCR.2023.14.5.543
- Song C, Ryu H, Na W, Baek J, Han S, Kyo G. 2023. Developing and utilizing a population projection model (in Korean with English abstract). Sejong, Korea: Korea Institute for Health and Social Affairs. Research Report 2023-28. doi: 10.23060/kihasa.a.2023.28
- Yoon SH, Lee SS. 2017. Development of a climate change vulnerability assessment analysis tool -Based on the vulnerability assessment of forest fires in Chungcheongnam-do- (in Korean with English abstract). *J Clim Change Res* 8(3): 275-285. doi: 10.15531/KSCCR.2017.8.3.275