

## 인천광역시의 기후적응 우선순위 선정 및 계획에서의 활용방안

류지은\* · 부찬종\* · 조경두\*\*†

\*인천연구원 인천탄소중립연구지원센터 책임연구원, \*\*인천연구원 인천탄소중립연구지원센터 센터장

### Incheon metropolitan city climate adaptation priority selection and utilization plan in planning

Ryu, Jieun\* · Bu, Chanjong\* and Cho, Kyeong Doo\*\*†

\*Research Fellow, Incheon Carbon Neutrality Center (ICNC), The Incheon Institute, Incheon, Korea

\*\*Director General, Incheon Carbon Neutrality Center (ICNC), The Incheon Institute, Incheon, Korea

#### ABSTRACT

Local governments are obliged to establish local climate crisis adaptation measures based on the 「Framework Act on Carbon Neutralization and Green Growth For Coping With Climate Crisis」 as the impact of climate change and the associated damage increase. According to the guidelines provided by the Korean Ministry of Environment, metropolitan and local governments were required to compile a list of local climate crisis risks and to establish detailed action plans by integrating climate crisis impact analysis and vulnerability assessment. However, because the methodology is not specific, there is little connection between adaptation measures and the listed risks, and controversy abound about effectiveness. In this study, to derive a list of local climate crisis risks according to the guidelines, the type and urgency of each risk was derived from a survey targeting public officials in Incheon Metropolitan City, and a method for deriving a priority risk list was presented based on this. The study found that the list of climate crisis risks in Incheon Metropolitan City contained many items requiring long-term research and monitoring, showing the urgent need for related policies in the health sector. The method of classifying and prioritizing the types of 'local climate crisis risks' presented in this study is aimed at public officials who have practical experience in local climate crisis by performing related tasks such as local civil complaints while living in the region. Go through the process of gathering opinions. Therefore, it is expected that it will help establish policies that can actually reduce the damage to citizens caused by the effects of climate change.

*Key words: Climate Change, Economic Damage, Climate Crisis Risk, Risk Analysis*

### 1. 서론

기후변화는 자연환경뿐만 아니라 사회, 경제, 산업 등 광범위한 부문에서 피해를 심화시키는 양상을 보이고 있다(Kim and Park, 2021). 전세계적으로 탄소중립 등 기후변화의 근본적인 문제를 해결하기 위한 온실가스 감축 등의 노력을 지속적으로 하고 있지만, 일정 수준으로 수렴되기까지 심각한 피해가 예상되므로(Park, 2016), 변화되는 기후체계에 적응할 필요가 있다(Füssel and Kelin

2006; Koh and Ye, 2020).

기후변화에 따른 영향은 전지구적으로 발생하지만, 실제적인 피해는 일부 지역에서 국지적인 규모로 발생하므로 지역적인 대응의 중요성이 강조되고 있다(IPCC, 2007). 기후변화 현상의 발현과 적응대책 이행으로 인한 적응 효과가 나타나기까지 중장기적인 시간이 소요되므로, 지역에 맞는 적응을 위해(Wheeler, 2008), 지자체는 중요한 적응대책의 이행 주체로서 기후위기 적응대책을 수립해야 한다(Yeo and Hong, 2020).

†Corresponding author : kdcho@ii.re.kr (Incheon Carbon Neutrality Center, The Incheon Institute, Meet-you-all Tower 1205Ho, 12 Gaetbeol-ro, Yeonsu-gu, Incheon 21999, Korea. Tel. +82-32-715-5791)

ORCID 류지은 0000-0003-2766-4686  
부찬종 0009-0003-8516-8928

조경두 0000-0001-9199-129X

우리나라는 「기후위기 대응을 위한 탄소중립·녹색성장 기본법(2022.3.25.일 시행)(이하 탄중법)」이 발효되면서 탄중법에 근거하여 시도지사·시장·군수·구청장은 지역적 특성을 고려하여 관할구역의 기후위기 적응에 관한 대책을 5년마다 의무적으로 수립하고 환경부 장관에게 제출하게 되어있다. 환경부는 해당 법에 따른 지방 기후위기 적응대책 수립을 위한 가이드라인을 공개하였으며(Ministry of Environment, 2022), 이에 따르면, 지방 기후위기 적응대책 수립을 위해 지역 영향평가, 취약성평가, 리스크 목록 도출 등을 통해 지역 리스크를 선정하고 이에 근거하여 세부이행과제를 수립하도록 하였다.

기후변화 적응 측면에서 국제적 기후위기 대응전략은 IPCC 4차 보고서(2007)에서는 기후변화 취약성 조사를 통해 적응능력을 강화하는 것이 중요하다고 강조하였으나(Shin and Lee, 2014), 최근 IPCC 5차 보고서에서는 불확실한 미래의 손실을 예측하고 관리하는 리스크관리 체계로 개편되고 있는 추세이며(IPCC, 2014; Kang et al., 2017), 최근 우리나라에서도 지역 리스크 도출 등 기후위기 리스크 관리에 초점을 맞춰 적응대책을 수립 및 관리하고 있다.

지방 기후위기 적응대책 수립을 위하여 지역에서 활용 가능한 지역 리스크 목록을 도출하고 적응대책 수립을 위한 전략적 우선순위를 선정하는 것이 필요하다. 환경부 가이드라인(2022)에 의하면, 지역 리스크를 도출하기 위해서 ① 국가 기후위기 적응대책의 리스크 검토, ② 지역 영향평가(문헌 및 통계, 주민 인터뷰 및 설문조사, 영향평가 모형 활용), ③ 지역 취약성평가를 수행하여 종합분석을 통한 지역 리스크를 도출하도록 기술되어 있으나 지역마다 현황이나 기후 영향이 다르며 구체적인 방법이 기술되어 있지 않아 정책보고서에 개별적으로 포함되는 반면, 연계성은 떨어지는 편이다. 이는 취약성평가와 영향평가 부분의 가이드라인에 기술되어 있는 VESTAP과 MOTIVE 등 프로그램의 목적이 달라서 평가항목이 리스크의 항목과 다르기 때문에 직접적인 비교가 어렵기 때문이기도 하다. 따라서, 본 연구에서는 지역리스크 도출과정 중 지방 기후위기 리스크 목록 작성 및 우선순위 선정과정에서 단계별 연계성을 높이고 정책과 긴밀하게 연계될 수 있도록 적응대책 수립과정의 개선방안을 제안하였으며, 인천광역시를 대상으로 적용하여 활용 가능성을 확인하였다.

## 2. 연구의 범위 및 방법

### 2.1. 지역 기후위기 리스크 목록 도출

제2차 국가 기후위기 적응대책의 기후 리스크 목록은 총 87개이며, 제3차 국가 기후위기 적응대책에서는 84개의 리스크 목록이 제시되었다. 도출된 기후변화 리스크 항목간 연관성이 높고(HM Government, 2012), 2차적으로 발생할 수 있는 리스크(Fredrich and David, 2008)와의 위계 문제 등이 존재하므로(Kang et al., 2017) 지자체에 맞게 국가 리스크 목록을 활용하되, 지자체의 현황에 맞지 않는 리스크 항목은 삭제하여 활용한다. 중복된 목록은 제외하고 국가 리스크 목록 외에 제2차, 제3차 지방 기후위기 적응대책에 포함되어있는 기후위기 리스크 항목, 국외 기후 리스크 목록 중 지자체의 현황과 맞는 리스크 항목은 포함하여 리스크 목록을 작성한다.

지방 기후위기 적응대책 수립을 위한 지역 리스크는 국가 기후위기 적응대책과의 정합성을 위하여 국가에서 다루고 있는 범위를 포함하여 6대 부문(물관리, 생태계, 국토·연안, 농수산, 건강, 산업·에너지)으로 한정한다.

### 2.2. 리스크 목록 도출 시 고려해야 하는 지역 영향평가 및 지역 취약성평가 방법

환경부 지침(2022)에서는 지역현황, 기후변화 현황 및 전망, 지역 영향평가, 취약성평가를 종합평가 및 분석하여 지역 리스크를 도출하도록 기술되어 있다. 지침에 제시된 기후변화 영향평가 모형(MOTIVE, Model of Integrated Impact and Vulnerability Evaluation for climate change), 기후변화 취약성평가 도구(VESTAP, Vulnerability Assessment Tool to build climate change adaptation plan) 등을 활용하도록 되어있다.

각 평가 모형들은 Table 1과 같이 평가항목의 범위가 다르다. 건강부문을 예시로 보면, MOTIVE는 기후변화 원인으로 인한 사망률로 구체적인 예측을 하지만, VESTAP에서는 취약성이라는 포괄적인 평가항목을 제공하고 있으며, 국가 제3차 기후위기 리스크 목록에서는 한파, 태풍, 홍수에 의한 건강의 영향 부분이 언급되지 않아 평가 도구별로 직접적인 연계성을 검토하기 어렵다. 따라서 평가항목 중, 넓은 범위를 포함하는 취약성평가 항목을 기준으로 리스크 항목 및 기후변화 영향모형의 평가지표를 세부 부문으로 그룹화하였다(Appendix 1 참고). 이는 추후 리스크 분석을 위하여 취약성 및 영향평가 결과를 활용하기 위함이다.

Table 1. Linkage with health sector vulnerability assessment items, climate change impact model assessment items, and climate crisis risk list (health sector)

Classification	Vulnerability evaluation item (VESTAP)	Climate change impact methods (MOTIVE)	Climate crisis risks in Incheon	The 3rd national climate risk list
Infectious diseases	Infectious diseases caused by insects and rodents health vulnerability	• Number of visits to medical institutions due to vector (malaria, tsutsugamushi)	• Infectious diseases (vector insect infectious diseases, etc.) increase due to temperature rise	H01
	Health vulnerability to waterborne diseases	• Number of visits to medical institutions due to enteritis	• Increase in the occurrence of new infectious diseases and diseases due to climate (diseases caused by water-borne diseases, etc.)	H03
health disease	Health vulnerability due to air pollutants	• Total number of deaths from PM10 • Contributing deaths due to PM10 • Contributed deaths from ozone • Total number of deaths attributed to ozone	• Increased mortality due to exposure to harmful substances and air pollution • Increase in respiratory, allergic, and cardiovascular diseases due to air pollution (fine dust, yellow dust, ozone concentration, etc.) • Increase in mental health diseases due to air pollution	H04, H08, H09
	Health vulnerability from heatwave	• Contributing death toll from heat waves • Total number of deaths attributed to heat waves	• Mortality due to heat wave(temperature rise)· heat illness· cardiovascular disease· kidney disease· respiratory system and allergic disease increase • Increased mortality in elderly patients • Cardiocerebrovascular disease increases due to increased temperature fluctuations • Increase in mental health diseases due to heatwaves	H11, H12, H13 H05
	Health vulnerability due to cold wave	-	• Increase in cardiovascular disease due to cold wave	H06
	Health vulnerability due to meteorological disasters (typhoon, flood)	-	• Mental health damage (increase in injury and death rate, mental health disease) due to meteorological disasters (typhoon, flood)	H07

### 2.3. 사회과학적 방법론에 기반한 기후 리스크의 우선 순위 분석

#### 2.3.1. 리스크 목록의 재구성 및 스크리닝

인천광역시에서는 국가 제2·3차 기후위기 적응대책, 영국의 CCRA1,2, 미국 USGCRP의 국가 기후평가 보고서, 캐나다 브리티시컬럼비아(Government of British Columbia, 2019) 기후변화 리스크 이벤트 목록 등 국내·외 기후 리스크 목록을 검토하여 인천광역시의 현황에 맞

는 목록을 재구성하였다. 검토과정에서 목록들의 중복 가능성과 목록간 인과관계를 고려하여 일부 리스크 목록은 제외하였고 인천광역시 내에 존재하지 않는 항목 역시 제외하였다.

#### 2.3.2. 리스크 유형화 : 대응 및 시급성 기준

리스크의 유형은 기후위기로 인한 피해가 예상될 때 필요한 정책 유형을 구분하기 위하여, ① 적극적 대응이 필요한 ‘우선적 추가조치 필요(Action now, AN)’ 항목, ②

Table 2. Types of risk classification plan

Risk types	Description of contents
Action now, AN	Risk items that are directly affected by climate change and require priority measures due to significant damage
Research and monitoring needed, RM	Risk items that are highly likely to be affected but require continuous research and monitoring due to lack of accurate information on the probability of occurrence and degree of impact
Potential Risk, PR	Risk items that are not directly affected by climate change, but have indirect effects

단기적 대응에 앞서 기후변화 영향분석의 데이터 부족 한계를 극복하기 위한 ‘장기적 연구 및 모니터링 필요 (Research and monitoring needed, RM)’ 항목, ③ 직접적 피해는 거의 나타나지 않았지만, 간접적 영향을 줄 가능성이 있는 ‘잠재적 리스크(Potential Risk, PR)’ 항목으로 구분하도록 한다<sup>1)</sup>(Table 2).

또한, 앞서의 리스크 유형에도 리스크 저감대책의 시급성에 관한 속성이 일부 포함되어 있지만, 리스크 저감 대책의 시급성을 정성적으로나마 구분하여 검토하기 위하여 별도의 평가 기준을 도입하였다. 기후 리스크 저감의 시급성 평가기준은 항목별로 ‘시급성 낮음’, ‘시급함’, ‘매우 시급함’으로 구분하도록 한다.

2.3.3. 리스크 우선순위 분석

본 연구에서는 스크리닝한 리스크 목록을 기준으로 기후변화 적응 관련 전문가 6인(지역 환경단체 2인, 교수 3인 등)의 검토 후 최종 선정된 109개의 리스크 목록을 대상으로, 인천광역시에 거주하면서 관련 사업의 직접 관리 및 수행 주체인 지자체 공무원을 상대로 기후 리스크별 발생가능성과 시급성, 리스크 유형에 대한 조사를 시행하였다. 기후 리스크 항목별 발생가능성은 현재와 비교하여 ‘발생 가능성 감소 - 현재와 비슷 - 증가’항목으로 조사하였고, 시급성은 ‘시급성 낮음 - 시급함 - 매우 시급함’, 리스크 유형은 ‘우선적 추가조치 필요 - 장기적 연구 및 모니터링 필요 - 잠재적 리스크’를 체크하도록 하는 설문조사 방식을 활용하였다.

인천광역시 내 기후위기 적응 관련 업무를 담당하는 공

무원 180명을 대상으로 수행한 설문조사 결과에 근거하여 목록화한 기후변화 리스크 목록들의 유형을 구분하고, 각 리스크가 영향을 미치는 시간·공간 범위를 분석하였다. 설문조사의 신뢰도를 높이기 위하여 기후위기 리스크 항목별로 각 리스크 항목과 연계되는 지역 현황, 취약성평가 및 영향평가 결과 등에 관한 정보를 설문조사 내용에 정리하여 사전정보로 제공하였다(Fig. 1). 현황 부분에 관련 도면 및 통계연보 등 객관적 자료에 근거하여 해당 내용을 기술하였으며, VESTAP 프로그램에 의한 지역 취약성평가 결과와 MOTIVE 프로그램 등을 활용한 영향평가 결과 등을 기후 리스크 연관 항목과 연계하여 제공함으로써 기후변화와 관련한 시급성과 영향의 변화 추이 예측에 관한 응답을 하는데 참고하도록 하였다<sup>2)</sup>.

설문조사 항목은 대상자의 소속과 관련성이 있는 부문으로 한정하였으며, 부문별로 기후변화로 인하여 발생 가능한 피해와 현황, 기후변화 취약성과 영향을 기술하여 담당자의 전문성과 설문조사의 이해도를 높였다. 설문조사는 2021년 7월 15일부터 10월 14일까지 진행하였다. 건강 부문은 감염병 및 건강질환과 관련된 사업담당자 17명이 응답하였으며, 농축수산업 부문은 농축산업 담당자와 수산업 관련 담당자가 각각 14명과 10명이 응답하였다. 산림/생태계 부문과 관련하여 산림 생산성의 취약성·병해충·외래종·산림재해와 관련 7명, 해수서식지 관련 9명, 산림의 물순환과 담수서식지 변화 관련 10명, 산림식생, 생태계서비스, 육상서식지, 먹이사슬 관련 18명, 물관리 관련 10명이 응답하였다. 국토연안 부문은 교통기반시설 관련 17명, 교통을 제외한 기반시설 관련 10명, 교통을 제외한 정주공간 관련 6명, 해수면 기반시설 관련 10명이

1) 영국 기후변화 리스크 평가(Climate Change Risk Assessment, CCRA2)에서 리스크에 대응하기 위한 행동 단계별로 부문별 리스크를 목록화하였으며, 우선순위 선정과 관련하여 실제 적응대책과 연계하기 용이하여 이러한 구분을 활용하였다(HM Government, 2017). Cho and Ryu (2021)의 연구에서도 기후 리스크 유형을 AN, RM, PR로 구분하였음  
 2) 리스크 목록 및 유형 도출을 위한 설문조사는 Fig. 1과 같이 부문별로 구분하여 응답자별로 유관업무에 한하여 평가하도록 하였으며, 관련하여 인천광역시의 현황, 기후변화 영향 등을 객관적인 자료를 도면화 하여 공간정보를 제공해 의사결정 및 거시적인 현황 파악에 도움을 주었음. Fig. 1은 국토연안 부문 중, 교통기반시설에 해당하는 현황 부분에 대한 설문 자료임

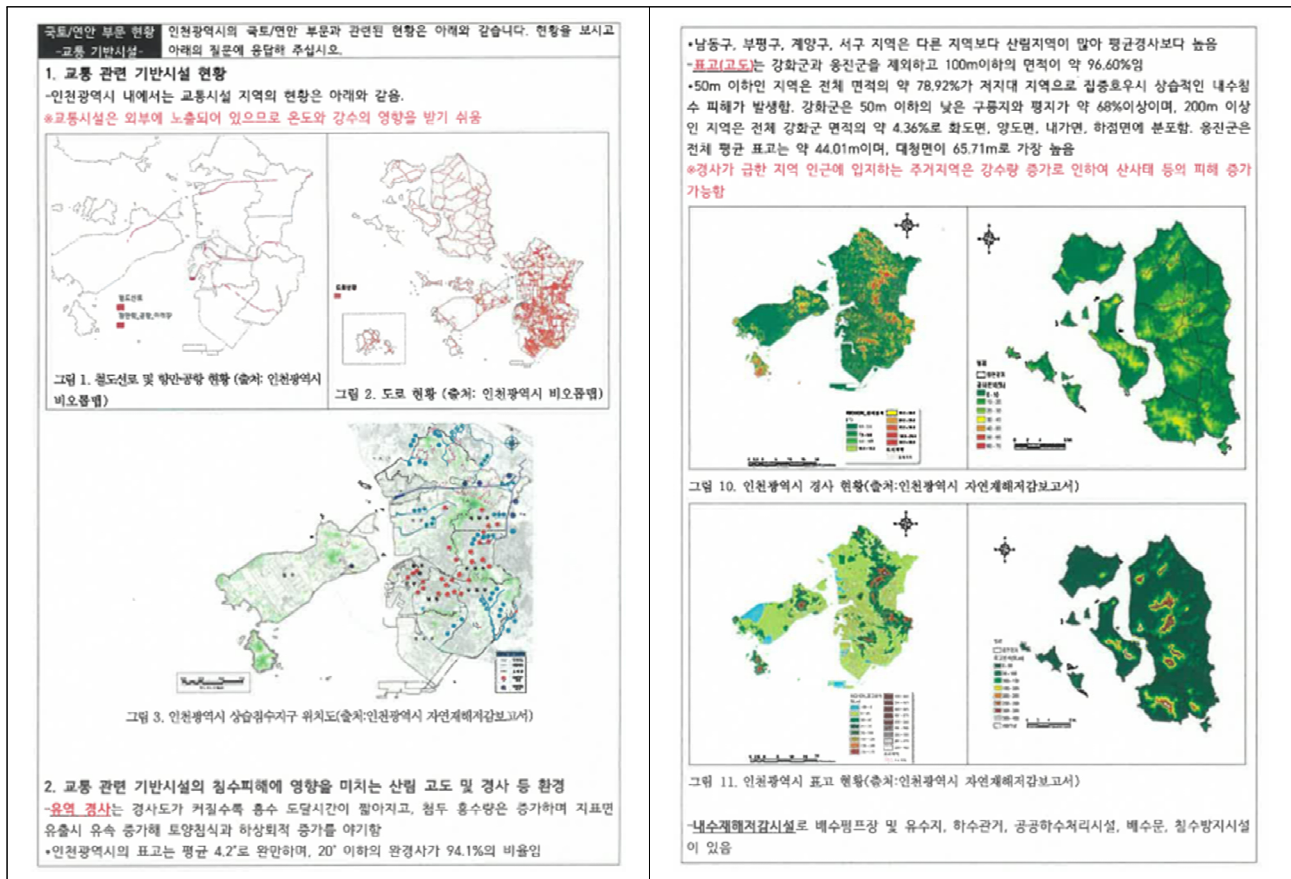


Fig. 1. Description of the current situation within the survey for climate risk type and impact scope analysis

응답하였다. 또, 산업/에너지 부문과 관련하여 레크리에이션 관련 10명, 제조업 및 비제조업 관련 12명, 에너지 설비 및 사용과 관련 10명이 응답하여 총 180명이 설문조사에 참여하였다.

리스크 목록별로 응답자 수가 가장 많은 항목을 목록별 해당 리스크 목록의 유형 및 시급성으로 구분하였다. 응답자의 중복 응답을 허용하였으며, 시급성의 경우, '시급함'과 '매우 시급함' 항목에 대하여 동일한 수의 응답자가 존재할 경우, 시급성이 더 높은 항목을 기준으로 등급을 구분한다. 리스크 유형의 경우, 응답자의 수가 항목별로 동일한 경우, 모두 기술하고 우선순위 리스크를 판단할 때, AN와 RM, PR 순서로 높은 리스크를 선택하였다. 리스크 유형과 시급성은 일부 '우선순위'라는 개념이 중복적으로 적용이 될 수 있지만, 본 연구에서는 상충성을 강조의 의미로 해석하였다. 따라서, AN이면서 '매우 시급함'에 해당하는 리스크 목록을 가장 우선순위가 높은 리스크로 평가하였다.

### 3. 인천광역시의 기후위기 리스크 분석 및 전략적 우선순위 선정

#### 3.1. 인천광역시의 기후위기 리스크 목록

데이터의 분석 및 용이성을 위해 유사 리스크 세부 목록은 부문별로 구분하여 총 6개 분야(물관리, 생태계/산림, 건강, 농·축·수산업, 국토연안, 산업/에너지) 109개의 리스크 목록으로 준비되었다. 물관리 관련 6개, 수산업 부문 3개, 생태계 관련 28개(담수 서식지 15개, 해수 서식지 13개), 산림 관련 20개(생물종 7개, 육상생물 서식지 13개), 건강 관련 6개(감염병 2개, 건강질환 4개), 농축산업 관련 16개(식량자원 6개, 생산환경 기반 7개), 수산업 관련 3개, 국토연안 관련 22개(기반시설 및 건축물 17개, 정주공간 5개), 산업/에너지 관련 11개(산업 7개, 에너지 4개)로 리스크 목록을 구성하였다(Appendix 1 참고).

### 3.2. 시급성을 고려한 기후변화 리스크 유형의 구분

건강 부문은 다른 부문에 비하여 리스크 항목 중 AN의 비율이 높게 나타났다. ‘감염병-23’ 리스크는 시급함으로 평가되었지만, 이외의 다른 모든 리스크는 ‘매우 시급함’으로 평가되었으며, ‘건강질환-44’는 AN과 RM에 모두 해당되는 것으로 나타났다. 이는 우선적 추가조치가 필요하면서 장기적인 연구 및 모니터링도 동시에 필요하다고 해석할 수 있으며, 이러한 조치가 매우 시급하게 필요한 것으로 분석되었다.

농축수산업 부문에서는 AN으로 구분된 리스크 항목은 수산업에서 1개, RM은 농축수산업 부문에서 13개로 나타났다. 잠재적 리스크인 PR로 구분된 리스크는 1개로 평가되었다. 이는, 농축산업과 관련하여 우선적 추가 조치를 필요로 하는 리스크 항목은 없고, 장기적 연구와 모니터링이 매우 시급한 리스크 항목이 식량자원과 관련하여 3개, 생산환경 기반시설과 관련하여 6개가 존재하는 것으로 나타났다. 농축산업 부문보다 수산업 부문에서 ‘매우 시급함’으로 평가된 리스크 항목 개수가 더 많은 것으로 나타났다.

산림/생태계 부문에서는 산림 부문이 생태계 부문에 비하여 ‘매우 시급함’으로 평가된 리스크 항목 개수가 더 많았으며, AN이면서 RM, PR로 평가된 리스크 항목은 ‘외래종-15’ 항목으로 인천 전역으로 시가지, 산림초지, 수역 및 인근지역 등 인간의 활동이 미치는 범위에서 영향이 발생 가능하므로 ‘매우 시급함’이 높게 나타났다. 이는 산림 부문에 산림생산성 및 산림재해와 관련된 항목이 포함되기 때문에 AN의 비율이 우세하지만, 육상서식지의 변화(서식지 축소, 생물상 변화 등)와 물순환 관련된 리스크를 포함하여 장기적 모니터링 및 관련 연구에 대한 필요성이 더 높게 나타났다.

물관리 부문에서는 물의 수량관리와 관련된 항목들로 구성되며, 모두 ‘시급함’ 이상으로 평가되었다. 특히 홍수 피해 및 가뭄으로 인한 용수 부족은 AN 유형으로 평가되었다.

국토/연안 부문 분석 결과, 시급성이 낮은 항목은 해수면에 대한 기반시설 취약성과 관련된 3개 항목(해수면 기반-36,47,58)이며, 정주공간과 관련된 1개 항목(정주-49)이다. 기반시설물과 관련된 리스크는 정주공간에 비하여 시급성이 높으나, 다른 부문에 비하여 낮은 것으로 나타났다. 기반시설물 중, 해수면과 관련된 리스크는 해당 세부 부문의 리스크 중 PR로 구분된 항목이 60%이며, 나머지 40%는 RM으로 분석되었다. 즉, 시급성이 낮고 즉각적인 기후변화 적응 대비를 하기보다는 잠재적 리스크로 장기적인 측면에서 영향과 관련된 데이터 축적 및 영향을 분석하는 것이 필요하다는 의미이다. 기반시설물과 관련된 리스크 항목 중, 폭염과 관련된 항목에 대해서는 해당 부문의 리스크에 모두 AN이 포함되었다. 이상기상 현상이 기반시설에 미치는 피해와 관련해서 우선적으로 추가 조치를 시행하기보다는 장기적인 연구 및 모니터링이 필요하다고 조사되었다.

에너지/산업 부문에서 AN으로 구분된 항목은 없었으며, RM으로 평가된 리스크 항목과 PR로 구분된 리스크는 각각 10개와 2개이다. 시급성이 낮은 항목은 ‘기후변화로 인한 소비자의 소비패턴 변화(비제조업-310)’이다. 이는 직접적으로 기업에 피해가 발생하기보다는 기업의 이익 감소로 피해가 나타날 수 있다. 이는 기업에서 다양한 전략으로 사전 대비가 가능하므로, 공무원을 대상으로 하는 설문조사 결과에서는 에너지/산업 부문이 유일하게 시급성이 낮으며 장기적인 연구가 필요한 항목으로 평가되었다.

### 3.3. 우선순위 리스크 목록 도출

리스크 부문별로 AN이면서 ‘매우 시급함’으로 평가된 리스크 항목을 우선순위 리스크 목록으로 도출하였다 (Table 3). 전체 부문의 리스크 유형은 장기적 연구 및 모니터링(RM)이 약 66.1%로 가장 우세한 것으로 나타났으며, 우선적 조치가 필요한 리스크(AN)는 약 29.4%, 잠재적 리스크(PR)은 약 4.6%로 나타났다.

- 3) 감염병-2: 기후·환경 변화로 인한 신종 감염병, 질병(수인성 매개질환으로 인한 질병 등) 발생 증가
- 4) 건강질환-4: 기상재해(태풍, 홍수)로 인한 건강 피해 (부상 및 사망률 증가, 정신건강 질환) 증가
- 5) 외래종-1: 기후변화에 의한 외래종(육상동물, 육상식물, 해양 외래, 해적생물 등)과 침입종 증가 및 질병 증가
- 6) 해수면 기반-3: 해수면 상승으로 염분이 높은 물의 수위를 상류로 이동
- 7) 해수면 기반-4: 해안침식이나 침수로 인하여 해변이나 공공장소의 접근성 감소
- 8) 해수면 기반-5: 지하수에 바닷물이 침투할 가능성 증가
- 9) 정주-4: 대설로 인한 취약지역 거주민 고립위험 증가
- 10) 비제조업-3: 기후변화로 인한 소비자의 소비패턴 변화

Table 3. Risk type and degree of urgency

Risk type			Degree of urgency			Total number of risks
			Low urgency	urgency	High urgency	
Health	Infectious diseases	AN			1	1
		RM		1		1
		AN,RM				
	Health disease	AN			3	3
		RM				
		AN,RM			1	1
Total				1	5	6
Agriculture and livestock industry	Food resources	AN				
		RM	1	2	3	6
		AN,RM				
	Based on production environment	AN				
		RM			6	6
		PR		1	1	
Fisheries	Food resources	AN			1	1
		RM				
		AN,RM			1	1
	Based on production environment	AN				
		RM			1	1
		AN,RM				
Total			1	2	13	16
Forest	Species	AN			1	1
		RM		3		3
		AN,RM		1		2
		AN,RM,PR			1	1
	Terrestrial habitat	AN		1	1	2
		RM		8		8
		AN,RM	1	2	3	
Ecosystem	Changes in freshwater habitats	AN		2		2
		RM		12		12
		AN,RM		1		1
	Changes in marine habitats	AN		2		2
		RM		11		11
		AN,RM				
Total				42	6	48
Water management	Water amount management	AN			2	2
		RM		3		3
		AN,RM		1		1
Total				4	2	6
Land / Coast	Infrastructure and Buildings	AN		1	4	5
		RM	1	6		7
		AN,RM		2		2
		PR	2	1		3
	Settlement space	AN				
		RM	1	2	1	4
		AN,RM		1		1
		PR				
Total			4	13	5	22
Energy / Industry	Industry	AN				
		RM		6		6
		PR	1			1
		AN,RM				
	Energy	AN				
		RM		3		3
		AN,RM				
		RM,PR		1	1	
Total			1	10		11

Table 4. Among the list of risks, the type is AN and the urgency is evaluated as 'very high'

Sectors	Risk list
Health	Infectious diseases caused by temperature rise (increase in infectious diseases by vector insects)
	Increased health damage from air pollution
	Increased health damage from heat waves
	Increase in cardiovascular disease due to cold wave
	Increase in health damage due to meteorological disasters
Agriculture and livestock industry	-
Fisheries	Damage to aquaculture from climate change
	Changes in fishery resources due to sea temperature rise and hypoxia
Forest	Accelerating the extinction crisis of indigenous endemic species vulnerable to climate change
	Increased probability of pest survival in winter
	Increase in introduced and invasive species and diseases due to climate change
	Decreased forest resources by causing ecosystem collapse, economic collapse, and loss of ecosystems due to various causes
	Increase in forest disasters due to heavy rain and drought
Vulnerability of forest roads due to landslides caused by torrential rain	
Water management	Increased flood damage in rivers and valley due to heavy rain
	Water shortage due to drought
Country/Coast	Increased damage to old and defective buildings due to heavy snow and strong winds
	Intensifying urban heat island effect
	Increased deformation and premature failure of paved roads and railway rails due to increased temperature variability
	Deterioration of non-transportation infrastructure, including drainage, due to changes in rainfall patterns

리스크 유형 중, 즉각적인 대책이 필요한 AN으로 평가된 리스크 항목의 부문별 비율은 건강 부문(83.3%), 물관리 부문(50.0%), 국토연안 부문(36.4%)의 순으로 높았다. 이 외에, 산림생태계 부문과 농축수산업 부문이 각각 29.2%과 12.5%이었으며, 산업/에너지 부문에서는 해당 조건을 충족하는 항목이 없는 것으로 조사되었다.

리스크의 시급성과 관련하여, '매우 시급함'으로 평가된 리스크 항목의 부문별 비율은 건강 부문 83.3%, 농축수산업 부문 81.25%, 물관리 부문 33.3%, 국토연안 부문 22.7%, 산림생태계 부문 12.5% 등이며, 에너지 산업 부문은 해당 항목이 없는 것으로 분석되었다.

#### 4. 결론 및 토의

기후변화로 다양한 자연적 사회적 피해가 발생하고 예측되는바, 이를 예방하기 위하여 전세계-국가-지자체에서는 기후위기 적응대책을 수립하여 이미 시작한 기후변화의 피해를 줄이기 위하여 대책을 수립하고 실행하고 있다. 우리나라에서는 탄중법에 근거하여 국가-광역-기초지

자체가 연계성을 갖고 기후위기 적응대책을 수립해야 하며, 환경부에서는 이를 지원하기 위한 가이드라인을 제공하였다.

이에 따르면, 지방 기후위기 적응대책은 취약성, 영향평가, 현황분석 등을 통해 지역 리스크를 도출하고 이를 종합평가 하도록 되어 있다. 적응대책은 일반적으로 가이드라인에 제시하는 프로그램 및 방법론을 활용하여 필요한 내용만 의무적으로 작성하는 경우가 대부분인데 실제 기후위기 측면에서 적응능력을 높일 수 있는 적응대책을 도출하기 위해서는 각 평가 결과 간의 연계성 및 이들을 종합한 종합평가와 지역 리스크 분석이 적응대책과 연계될 필요가 있다.

가이드라인에서 제시하는 평가 방법별로 목적이 다르고 평가항목 및 결과물이 다를 수 있기 때문에, 본 연구에서는 이를 종합하기 위해 인천광역시에서 거주하면서 실제 인천광역시의 행정 및 정책을 관리·집행하는 인천광역시 공무원을 대상으로 설문조사를 수행함으로써, 국내·외 문헌조사를 통해 도출한 기후위기 리스크 목록별로 적응대책이 필요한 유형을 3가지(AN, RM, PR)로 구



분하고 그 시급성을 3단계(시급성 낮음, 시급함, 매우 시급함)로 평가하였다.

리스크 항목의 유형에 대한 부문별 분석 결과를 보면, 건강 부문과 물관리 부문에서 AN으로 구분된 리스크가 각각 약 83.3%와 약 50%이며, 나머지 부문은 50% 미만으로 RM 유형이 우세한 것으로 나타났다. 이러한 결과는 건강 및 물관리 부문에서는 기후변화로 인한 영향이 직접적으로 높은 빈도로 나타나기 때문에 주민의 건강관리를 위한 즉각적인 대책이 시급하게 필요한 것을 의미한다. 시급성 측면에서는 리스크의 유형과 관계없이 정부 정책 등의 조치가 시급함과 매우 시급한 리스크 항목의 비율이 건강과 산림/생태계, 물관리 부문은 100%, 농축수산업은 93.7%, 국토/연안 부문은 81.8%, 에너지/산업 부문은 90.9%로 나타났다. 이 중, AN이면서 시급성이 매우 시급함으로 구분된 리스크는 모두 19개로 산림생태계 부문이 가장 많고, 건강, 국토연안, 물관리와 수산업 순으로 리스크 항목의 개수가 많았다.

리스크 항목의 유형은 장기적 연구 및 모니터링이 필요한 리스크 항목이 66.1%로 가장 우세하였다. 산림생태계 부문에서는 산림재해 및 외래종과 관련하여 모니터링 등의 장기적 연구가 즉각적으로 필요하지만, 주민의 건강 및 재산피해와 직접적으로 연결된 것은 아니기 때문에 시급성은 다소 낮게 나타났다. 이와 같은 연구의 필요성은 지자체에서 관리하는 산림생태계와 관련된 공간자료 등이 부재하고 정책 수립의 주체가 불분명하여 지방의 기후위기 적응대책 수립과정에서 우선순위를 높게 결정하기 어렵기 때문에 파악된다. 평가 모형과 연계하여 해석하면, VESTAP에 의한 종합 평가결과 산림 병해충에 대한 미래 기후변화 취약성은 낮을 것으로 예측되었으나, MOTIVE에서 제공하는 종별로 세분화한 분포 변화예측 결과에서 꽃매미 등 교란종의 기후변화 영향이 강화도 등 북쪽 지역에서 기후변화로 인하여 증가하는 경향이 나타날 것으로 예측되었다. 동일 항목에 대하여 이러한 분석 및 평가 결과를 종합하면, 시급성은 낮지만 모니터링 및 종합적·개별적인 범위를 포함한 체계적인 연구를 즉각적으로 수행하여 기후변화로 인한 발생가능한 특정 병해충으로 인한 피해를 예방하는 것이 필요하다는 결과를 도출할 수 있다. 물관리 부문의 리스크 항목은 이수와 치수가 관련된 항목이면서 집중호우 등으로 직접적인 주민의 피해가 발생 가능성이 높기때문에, AN이면서 즉각적인 조치가 필요한 리스크로 평가되었다. 국토연안 부문의 리스크 항목은 주민에게 직접 영향을 주기보다는 기반시설

과 관련된 항목 비중이 높아 시급성 부문에서 낮게 나타났다. 이에따라 잠재적으로 영향을 받을 수 있는 리스크의 비율이 다른 부문에 비하여 13.6%로 높게 나타났다. 이처럼 부문별로 데이터의 범위 및 의미가 다르므로, 본 연구에서 제시한 리스크의 유형 및 시급성과 공간자료 그리고 영향 및 취약성평가 결과를 종합적으로 활용해야 한다.

기후변화 리스크 평가에서는 대부분 리스크의 영향 크기를 설문조사로 도출하는데, 이는 기후변화로 인하여 발생 가능한 모든 리스크 항목별로 정량적으로 측정하여 평가 및 분석하는 것이 불가능하기 때문이다. 본 연구에서는 지방 기후위기 리스크의 유형 및 시급성에 대한 평가자로서 지자체의 유관업무 공무원을 선정하였는데, 해당 지역의 기후변화 적응정책을 수립 및 집행하는 주체이면서 동시에 기후변화로 인한 피해사례 등에 대한 직간접적인 경험자라는 점에서 유의미하다. 특히 설문조사 대상인 공무원들을 소속 부서에서 부문별 사업을 집행하거나 계획 중인 담당자로 한정했다. 이들은 지역의 이해도 및 전문성이 높을 뿐 아니라, 해당 부문의 리스크에 대한 관심이나 시급성에 대한 판단역량도 상대적으로 높기 때문에, 지역 주민이 체감하고 공감하는 적응대책 수립 및 추진에 제한적일지라도 기여할 가능성이 크다. 다만, 리스크 유형을 구분하기 위한 리스크별 설문 항목을 응답자의 담당 분야로 한정했음에도, 공무원의 근무 특성상 인사이드가 빈번하여 담당 부서에서의 업무경력이나 전문성이 충분하지 않을 수 있는 한계는 상존하고있다. 또한, 1차산업과 관련된 리스크 항목은 기후변화로 인한 영향을 직접적으로 받지만, 응답자가 공무원이고 인천광역시 내에서 1차산업의 비중이 낮아 시급한 정책 수요보다 장기적 모니터링과 연구에 대한 필요성이 높게 나타난 측면도 있을 것이다. 향후 과학기반 기후영향 모델링에 근거한 우선순위 리스크와 이번 연구에서 도출한 결과를 비교 분석하여 보완적으로 활용한다면, 더욱 유의미한 성과를 도출할 수 있을 것으로 기대한다. 더불어 적응 정책과의 연계성을 높이기 위해서 우선순위 리스크 목록을 기준으로 정책집행의 공간적 우선순위를 결정할 수 있도록 리스크의 공간화 방안과 관련된 연구가 진행된다면, 리스크 목록과 적응정책과의 연계성이 더 명확히 나타날 수 있을 것이다.

## References

- Cho KD, Ryu JE. 2021. Climate change risk analysis and strategic priority selection in Incheon metropolitan city. Incheon: The Incheon Institute.
- Fredrich K, David RH. 2008. California climate risk and response. Berkeley: Department of Agricultural and Resource Economics. Research Paper No. 08102801.
- Füssel HM, Klein RJ. 2006. Climate change vulnerability assessments: An evolution of conceptual thinking. *Climate Change*. 75: 301-329. doi: 10.1007/s10584-006-0329-3
- Government of British Columbia. 2019. Strategic climate risk assessment framework for British Columbia: Developed in progress toward a strategic climate risk assessment for British Columbia. British Columbia, Canada: Ministry of Environment and Climate Change Strategy.
- HM Government. 2012. UK climate change risk assessment: Government report. London, UK: The Stationery Office.
- HM Government. 2017. UK climate change risk assessment 2017. London, UK: The Stationery Office.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). 2007. Climate change 2007: Synthesis report. Geneva, Switzerland: Author.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). 2014. Climate change 2014: Synthesis Report. Geneva, Switzerland: Author.
- Kang Y, Shin J, Park CS. 2017. Multi influence relationship of climate change risk through analyzing newspaper in Korea. *Proceedings of 2017 Korea Environmental Economics Association Summer Conference*; 2017 Jun 23 ~ Jun 24; Incheon: 321-332.
- Kim NY, Park CS. 2021. A priority analysis on the climate change adaptation measures in the disaster: Using AHP and ANP. *Journal of Environmental Policy and Administration*. 29(1): 21-45. doi: 10.15301/jepa.2021.29.1.21
- Koh J, Ye M. 2020. Citizen science approach to climate change adaptation. Suwon: Gyeonggi Research Institute. 2020-04.
- Ministry of Environment. 2022. Establishment of local climate crisis adaptation measures and implementation evaluation guidelines. Sejong: Author.
- Park JW. 2016. Some lessons from the climate change adaptation system. *Environmental Law Review*. 38(2): 263-291.
- Shin H, Lee S. 2014. Development of a climate change vulnerability index on the health care sector. *Journal of Environmental Policy*. 13(1): 69-93.
- Wheeler SM. 2008. State and municipal climate change plans: The first generation. *Journal of the American Planning Association*. 74(4): 481-496. doi: 10.1080/01944360802377973
- Yeo I, Hong S. 2020. A research on the development initiative for public practices of local governments in Korea -Focused on the local adaptation planning in ecosystem sector-. *Journal of Environmental Impact Assessment*. 29(2): 79-92. doi: 10.14249/eia.2020.29.2.79

Appendix 1. Detailed risk list by sector available to Incheon Metropolitan City

Sectors	Division	Subdivision (Vulnerability evaluation item)	Climate change risk list	Climate change impact model (MOTIVE)	
Health	Infectious diseases	Infectious diseases caused by insects and rodents health vulnerability	•Infectious diseases (vector insect infectious diseases, etc.) increase due to temperature rise	Number of visits to medical institutions due to vector (malaria, tsutsugamushi)	
		Health vulnerability to waterborne diseases	•An increase in the occurrence of new infectious diseases and diseases (diseases caused by waterborne mediators, etc.) due to climate/environmental changes	Number of visits to medical institutions due to enteritis	
	Health disease	Health vulnerability due to air pollutants	•Increased mortality due to exposure to harmful substances and air pollution	•Increased mortality due to exposure to harmful substances and air pollution •Increase in respiratory, allergic, and cardiovascular diseases caused by air pollution (fine dust, yellow dust, ozone concentration, etc.) •Increase in mental health diseases due to air pollution	•Total number of deaths from PM10 •Contributing deaths due to PM10 •Contributed deaths from ozone •Total number of deaths attributed to ozone
			•Increase in mortality, heat-related diseases, cardiovascular diseases, kidney diseases, respiratory diseases and allergic diseases due to heat waves (temperature rise)		•Contributing death toll from heat waves •Total number of deaths attributed to heat waves
			•Increased mortality in elderly patients		
		•Cardiocerebrovascular disease increases due to increased temperature fluctuations •Increase in mental health diseases due to heatwaves			
		Health vulnerability due to cold wave	•Increase in cardiovascular disease due to cold wave	-	
		Health vulnerability due to meteorological disasters (typhoon, flood)	•Increase in mental health diseases due to meteorological disasters (typhoons, floods)	-	
	•Increased health vulnerability due to increased injuries and deaths from meteorological disasters (typhoons, floods)		-		
	Livestock and fisheries	Food resources	Vulnerability in productivity	•Increased damage to crops from floods and typhoons	Changes in crop growing season and productivity
				•Crop productivity fluctuations (increases and decreases) due to extreme events (temperature rises and falls)	
				•Changes in cropping system due to rising temperature and changing number of rainy days	Changes in crop growing areas
•Changes in suitable areas for crop cultivation due to rising temperatures and precipitation					
•Crop (e.g. rice) and dairy product growth stress					

Sectors	Division	Subdivision (Vulnerability evaluation item)	Climate change risk list	Climate change impact model (MOTIVE)
			•Increased damage from diseases and pests to crops due to rise in temperature and precipitation	Changes in pest distribution
		Vulnerability in livestock productivity	•Increased livestock damage from floods and typhoons	
			•Reduced livestock productivity due to heat waves, rising temperatures and increased humidity	
			•Livestock diseases caused by cold waves and temperature rises	
		Vulnerability to climate change in the fisheries sector	•Vulnerability of fisheries to changes in water temperature	Changes in production of fishery resources Change in the number of occurrences of red tide
			•Damage to fish farming due to heat waves, hypoxia, cold waves, and typhoons	
	•Changes in fishery resources due to sea temperature rise and hypoxia			
	Based on production environment	Agriculture-related production environment base such as farmland	•Vulnerability of agricultural soil erosion	Soil nutrient outflow due to increase in precipitation intensity
			•Farmland inundation and soil loss due to heavy rain, water pollution for agricultural water	
			•Due to the increasing growing season, gardens must be managed with excessive use of fertilizers and pesticides.	
			•Decreased ability to respond to floods in agricultural irrigation facilities due to increased precipitation	
			•Decreased use of agricultural machinery due to increased number of rainy days	
			•Increased stability of water supply and deterioration of water quality in agricultural irrigation facilities due to drought and temperature change	
		Cultivation · Vulnerability of breeding facility collapse	•Collapse of agricultural and livestock facilities due to meteorological disasters	Growing water demand for crops due to increased evapotranspiration crop damage due to drought Facility damage due to increased snow cover
•Increased barn energy consumption due to heat wave and cold wave				
•Increased damage to facilities (barns, greenhouses) due to heavy snowfall and strong winds				
		Basis for production environment in the fishery sector	•Changes in the fishing environment due to changes in the marine meteorological environment	
Forest	Species	Distribution of forest vegetation and changes in growth environment	•Accelerating the extinction crisis of indigenous endemic species vulnerable to climate change	Changes in the growth rate of each species.

Sectors	Division	Subdivision (Vulnerability evaluation item)	Climate change risk list	Climate change impact model (MOTIVE)	
			<ul style="list-style-type: none"> <li>•Vulnerability of pine trees and matsutake mushrooms</li> <li>•Changes in the growth and survival rates of each species due to climate change</li> <li>•Plant (species, community, plant season, distribution) changes due to temperature rise and precipitation increase</li> <li>•Species that cannot tolerate hot summers may die or migrate. Fauna at the southern limit are likely to become extinct</li> <li>•Some plants may require ‘set low temperature’</li> <li>•Damage to forest products due to climate change</li> <li>•Species may need to consume more water as temperature increases</li> <li>•Species and population increase due to abnormal climate</li> </ul>	<p>Changes in the growing regions of each species.</p> <p>Changes in forest carbon uptake.</p> <p>Accelerating endangerment of endemic species in Korea (ecosystem).</p> <p>Introduction and spread of disturbing species (exotic species) due to changes in the growing environment</p>	
		Pests	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Vulnerability of pine trees to pests</li> <li>•Insects are more likely to survive the winter without dying</li> </ul>		
		Alien species	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Increase in alien species (land animals, land plants, marine aliens, pirate organisms, etc.) and diseases caused by climate change</li> <li>•Exotic species can migrate elsewhere</li> <li>•New invasive species appear</li> </ul>		
			Ecosystem service change		<ul style="list-style-type: none"> <li>•Reduced carbon uptake by forests due to drought and rising temperatures</li> </ul>
			Changes in food chains and webs		<ul style="list-style-type: none"> <li>•Essential sources may disappear or affect food webs as a result</li> <li>•It may be difficult for birds to live because the time of food production of crops and the migration period of birds do not match.</li> </ul>
	Terrestrial habitat	Vulnerability in forest productivity	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Decreased forest resources by causing ecosystem collapse, economic collapse, and loss of ecosystems due to various causes (changes in temperature and precipitation)</li> </ul>		
		Vulnerability to forest disasters (forest fires, landslides)	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Increased occurrence and size of forest disasters (landslides, forest fires, etc.) due to heavy rain and drought</li> </ul>		Tree damage from increased landslides
			<ul style="list-style-type: none"> <li>•Higher risk of ignition due to rising temperatures, increasing seasonality of severe wildfires due to drying air</li> </ul>		Tree damage from increased wildfires (fires)
			<ul style="list-style-type: none"> <li>•Vulnerability of forest roads due to landslides</li> </ul>		
			<ul style="list-style-type: none"> <li>•Landslide vulnerability due to torrential rain</li> </ul>		
			<ul style="list-style-type: none"> <li>•Tree damage from increased wildfires (fires)</li> </ul>		
			<ul style="list-style-type: none"> <li>•Soil erosion caused by forest fires</li> </ul>		

Sectors	Division	Subdivision (Vulnerability evaluation item)	Climate change risk list	Climate change impact model (MOTIVE)
			•Decreased connectivity of ecosystems due to various causes including forest fires, floods, ecosystem changes, etc.	
		Changes in terrestrial habitats	•Habitat changes for forest organisms due to temperature rise (including subalpine vegetation, conifers, northern plants, protected plants, etc.)	
			•Increased soil moisture and dryness due to drought in spring	
			•Ecosystem changes caused by extreme weather	
			•Changes in soil microbes due to temperature rise, precipitation fluctuations, and drought	
			•Changes in forest streams due to heavy rain and drought	
			•Decreased populations and habitats of vertebrates and invertebrates due to rising temperatures and increased precipitation	
			•Decreased wetland area, landslide and biota change due to climate change	
			•Increased water temperature causes parasites and diseases	
		Changes in the water cycle	•New water reservoir may affect freshwater flow	
			•Rainwater infiltration can be reduced when precipitation intensity increases	
			•A higher temperature rise causes an increase in transpiration and a decrease in reservoir levels.	
			•The increase in the intensity and frequency of typhoons causes extreme flood damage and increased runoff.	
			•Conversion of surface water and groundwater for public water supply may affect the integrity of water bodies.	
		Ecosystem	Changes in freshwater habitats	Changes in population and habitat environment
•Reduction of dissolved oxygen in water				
•Increased water temperature increases the probability of inducing alien species or diseases				
•Some fish may require low temperatures to reproduce. The reproductive cycle of other organisms is highly related to water temperature				
•Invasive plants can block streams and waterways				
•Natural habitats may be affected if river freshwater flow is reduced or eliminated				
•Changes in freshwater organisms (animals, plants) population due to temperature rise and precipitation change				

Sectors	Division	Subdivision (Vulnerability evaluation item)	Climate change risk list	Climate change impact model (MOTIVE)
		Increase in pollution	•Low pH due to contamination can affect species habitat	
			•Increase in surface water turbidity due to increased typhoons	
			•Fish may be adversely affected during development by changes in water chemistry	
		Impact on food chains and webs	•Predators of fish and shellfish may go extinct due to extinction of fish and shellfish	
			•The fishing season and the habitat period of the fish may not match	
	Changes in marine habitats	Effects of sea level rise	•Changes in intertidal and estuary ecosystems due to sea level rise	Decreased coastal habitat due to sea level rise and change in wave patterns (typhoon frequency 50 years, 100 years)
			•Changes in island ecosystems due to rising temperatures and rising sea levels	
			•Shoreline erosion can lead to loss of beaches, wetlands and salt marshes	
			•Low freshwater levels can make it difficult for saltwater to enter	Property damage due to sea level rise (typhoon frequency 50 years, 100 years)
			•Increased vulnerability of estuary and coastal water management due to sea level rise	
		Ocean acidification	•Environmental changes and damage to coastal and estuary areas and marine ecosystems due to changes in rainfall patterns and ocean acidification	
			•Long-term ocean acidification could lead to problems with shellfish habitat, and fish could be adversely affected during their development.	
			•Decomposing organic matter releases carbon dioxide, which can lead to ocean acidification problems in coastal waters.	
			•Acidification of seawater due to high temperatures and high atmospheric carbon concentrations reduces the ability of crustaceans to reproduce.	
			•The effects of ocean acidification on calcifying plankton can have cascading effects on the food web.	
Changes in the ecosystem		•The extent to which tides affect may change		
		•Increased water temperature causes parasites and diseases		
		•Reduction of dissolved oxygen in water		
		•New invasive species appear		
		•Coastal aquifers may increase salinity due to scarce freshwater input.		

Sectors	Division	Subdivision (Vulnerability evaluation item)	Climate change risk list	Climate change impact model (MOTIVE)
Water management			•Corrosive organisms may affect the development of shellfish	
			•Increased appearance of jellyfish	
	Water quality/ ecosystem	Vulnerability to water quality and aquatic ecology	•Increase in appearance of harmful marine organisms and toxic marine organisms due to rising water temperature	
			•Increased heat stress in aquatic organisms due to heat waves	
			•Rising winter temperatures cause snow to melt quickly, reducing summer flows and increasing pollutant concentrations.	
			•The higher the solubility, the higher the concentration of contaminants	
			•Reduction of dissolved oxygen in water	
			•Increase in high surface temperature causes stratification of water	
			•Tidal flooding may extend to new areas, leading to additional pollution sources	
			•Less snow and more rain can change the runoff/infiltration balance. The basic flow of the river can be changed	
			•Increased inflow of pollutants into streams/lakes due to heavy rains	
			•Increased growth of algae and microorganisms can affect drinking water quality	
			•Deterioration of water quality in rivers/lakes due to temperature rise and drought	•Deterioration of water quality in watershed due to temperature rise and drought
	•Flooding can increase turbidity downstream and affect water quality			
	Quantity management	Vulnerability of flood control (flood management)	•Water shortage (living water, industrial water, etc.) due to drought	Property damage due to flooding.  Loss of life due to flooding.
			•Decreased groundwater recharge due to rising temperatures and drought	
			•Water vulnerability due to drought (general)	
		Vulnerability to irrigation (drought management)	•Water shortage (living water, industrial water, etc.) due to drought	Water shortage due to drought
			•Decreased groundwater recharge due to rising temperatures and drought	
•Water vulnerability due to drought (general)				



Sectors	Division	Subdivision (Vulnerability evaluation item)	Climate change risk list	Climate change impact model (MOTIVE)
Land / Coast	Infrastructure and buildings	Infrastructure vulnerability to heavy snowfall	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Increased damage to old and defective buildings due to heavy snow and strong winds</li> </ul>	
			<ul style="list-style-type: none"> <li>•Functional degradation of transportation facilities (land transportation, etc.) due to heavy rain and heavy snowfall (suspension of operation and increase in accidents)</li> </ul>	
			<ul style="list-style-type: none"> <li>•Increased temperatures increase the rate of snowmelt, resulting in severe riverine flooding. This causes flooding of roads and other infrastructure, collapse of irrigation dams, safety risks and contaminated drinking water.</li> </ul>	
		Infrastructure vulnerability to extreme heat	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Intensifying urban heat island effect</li> </ul>	
			<ul style="list-style-type: none"> <li>•Increase in early damage to paved roads due to increased temperature variability</li> </ul>	
			<ul style="list-style-type: none"> <li>•Deformation of railway rails and increased risk of derailment due to heat waves</li> </ul>	
			<ul style="list-style-type: none"> <li>•An increase in water temperature can cause more water demand.</li> </ul>	
			<ul style="list-style-type: none"> <li>•Can increase evaporation loss of reservoirs and groundwater</li> </ul>	
		Infrastructure vulnerability to flooding	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Deterioration and paralysis of expressways and railroads due to flooding caused by torrential rain</li> </ul>	
			<ul style="list-style-type: none"> <li>•Decreased functioning of drainage facilities due to changes in rainfall patterns</li> </ul>	
			<ul style="list-style-type: none"> <li>•Complex sewer flooding may increase</li> </ul>	
			<ul style="list-style-type: none"> <li>•Treatment infrastructure can be vulnerable to flooding</li> </ul>	
			<ul style="list-style-type: none"> <li>•Increased ingress and infiltration of water into sewer pipes</li> </ul>	
			<ul style="list-style-type: none"> <li>•Water-related infrastructure is unlikely to be vulnerable to flooding</li> </ul>	
			<ul style="list-style-type: none"> <li>•Increased vulnerability in dam/reservoir and river management due to increased rainfall fluctuation range (heavy rain, etc.)</li> </ul>	
		Vulnerability of infrastructure to sea level	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Increased damage to coastal facilities due to tidal waves, strong winds, waves, and sea level rise</li> </ul>	
			<ul style="list-style-type: none"> <li>•Sewerage and seawater can be mixed in a combined sewage system</li> </ul>	
			<ul style="list-style-type: none"> <li>•Rising sea levels can shift the levels of saltier waters upstream.</li> </ul>	
			<ul style="list-style-type: none"> <li>•Coastal erosion or flooding may reduce accessibility of beaches or public access points</li> </ul>	
			<ul style="list-style-type: none"> <li>•Increased likelihood of seawater intrusion into groundwater</li> </ul>	

Sectors	Division	Subdivision (Vulnerability evaluation item)	Climate change risk list	Climate change impact model (MOTIVE)
		Increased damage to infrastructure from abnormal weather events	•Damage and suspension of operation of port facilities and airport facilities due to abnormal weather phenomena (strong wind, heavy rain, heavy snow)	
			•Increased damage to electrical/communication facilities due to abnormal weather phenomena (heavy rain, strong wind, heavy snow, heat wave)	
			•Summer water supplies dependent on winter snowfall could disappear	
			•Possible increase in frequency of freeze/thaw cycles in cold climates that can affect infrastructure	
			•Treatment process changes may be required to protect public water supplies	
	Settlement space	Increase in damage caused by storm and flood	•Increased risk of flooding in low-lying areas due to heavy rains	
			•Increased risk of slope collapse in residential areas due to heavy rain	
			•Increased risk of inundation and flooding in coastal areas due to heavy rain, tidal waves, waves, and sea level rise	
		Increased damage to infrastructure from abnormal weather events	•Increased risk of isolation for residents of vulnerable areas due to heavy snowfall	
			•Increase in heat stress in residential areas due to heat waves	
Industry / energy	Industry	Manufacturing	•Manufacturing productivity decline due to heat wave, cold wave, and heavy rain	
			•Damage to production facilities due to strong winds	
			•Increased damage to the construction industry due to extreme weather events	
			•Factory shut down due to massive flooding	
	Non-manufacturing	•Treatment plants are unlikely to be able to discharge treated water via gravity at high water levels		
		•Global food prices rise due to changes in temperature and precipitation		
		•Influx of climate refugees is possible due to changes in temperature and precipitation		
		•Flights cannot take off at the airport due to high temperatures		
•Changes in consumer consumption patterns due to climate change				

Sectors	Division	Subdivision (Vulnerability evaluation item)	Climate change risk list	Climate change impact model (MOTIVE)
		Impact on recreation	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Increased use of water for recreation also increases the likelihood of exposure to pathogens.</li> </ul>	
			<ul style="list-style-type: none"> <li>•Risk of damage to tourism resources due to rising temperatures and strong winds</li> </ul>	
			<ul style="list-style-type: none"> <li>•Increasing temperatures, heat waves, heavy rains, and droughts have reduced tourists and sales</li> </ul>	
			<ul style="list-style-type: none"> <li>•Fish can be difficult to see in fish-watching recreation</li> </ul>	
			<ul style="list-style-type: none"> <li>•Changes in stream freshwater flow may not support recreational use</li> </ul>	
			<ul style="list-style-type: none"> <li>•Increased estuary salinity may shift habitats for targeted recreational fish</li> </ul>	
			<ul style="list-style-type: none"> <li>•Frequent storms may reduce recreational opportunities</li> </ul>	
			<ul style="list-style-type: none"> <li>•More pollution can hinder recreation</li> </ul>	
			<ul style="list-style-type: none"> <li>•Harvesting of clams during recreation may be reduced</li> </ul>	
			<ul style="list-style-type: none"> <li>•Ecotourism resources or attractions (e.g. birding, diving, fishing, etc.) may be hindered</li> </ul>	
			<ul style="list-style-type: none"> <li>•Reduced activity in winter recreation</li> </ul>	
	Energy	Damage to energy production facilities	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Damage to photovoltaic facilities during strong winds and typhoons</li> </ul>	
			<ul style="list-style-type: none"> <li>•Deteriorating power plant stability due to tidal waves and sea level rise</li> </ul>	
			<ul style="list-style-type: none"> <li>•Reduced transmission/transformation efficiency and facility damage due to temperature rise, heat wave, heavy rain, and strong wind</li> </ul>	
		Changes in energy usage	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Increased variability in wind power generation due to temperature rise, increase in rainfall, and change in wind patterns, and movement of effective wind resources</li> </ul>	
			<ul style="list-style-type: none"> <li>•Increased use of energy for heating and cooling due to heat waves and cold waves</li> </ul>	
			<ul style="list-style-type: none"> <li>•Increased power demand and risk of blackout due to heat wave and cold wave</li> </ul>	
			<ul style="list-style-type: none"> <li>•Demand for higher power may affect operational decisions of dams for hydroelectric power generation.</li> </ul>	
			<ul style="list-style-type: none"> <li>•Increased barn energy consumption due to heat wave and cold wave</li> </ul>	