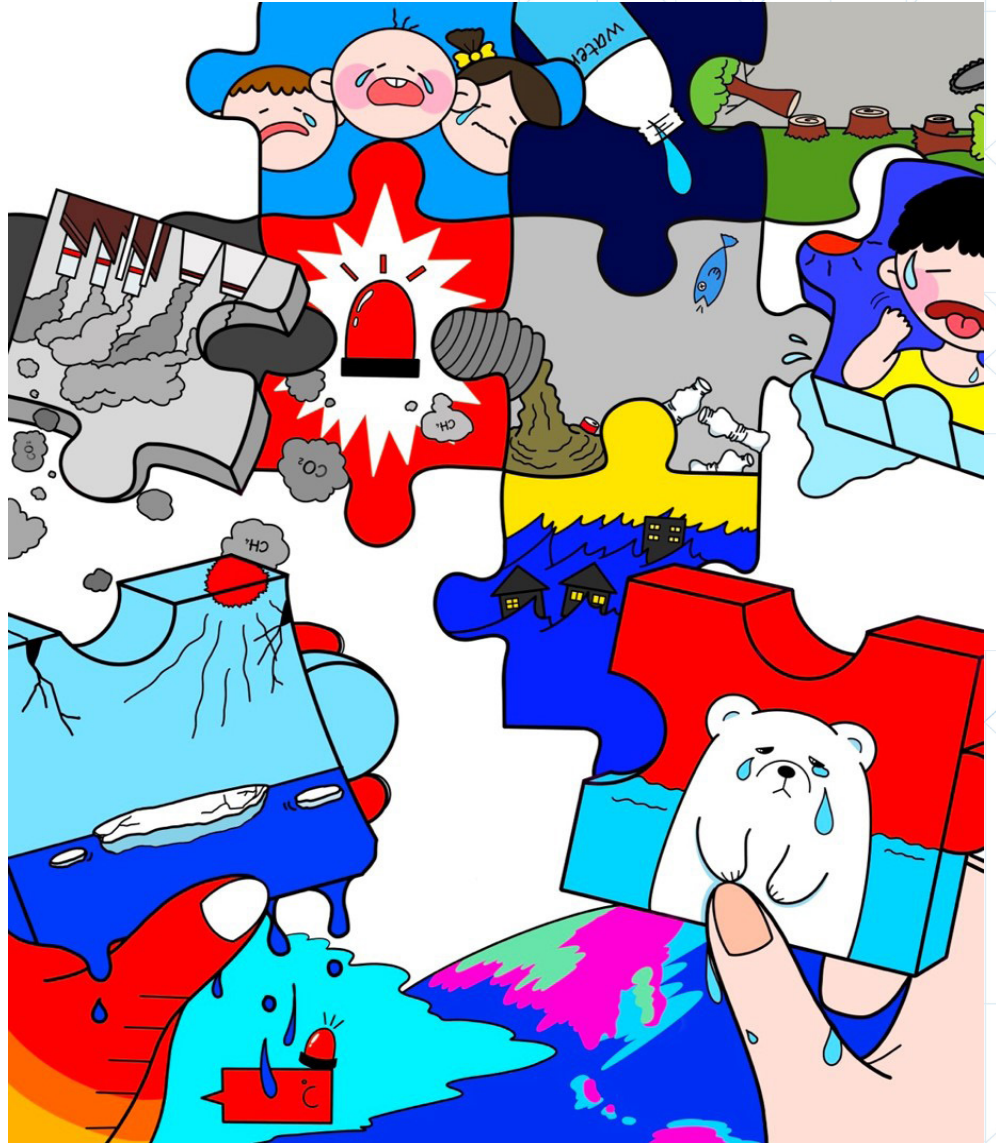


탄소중립을 위한 기후변화과학의 이해

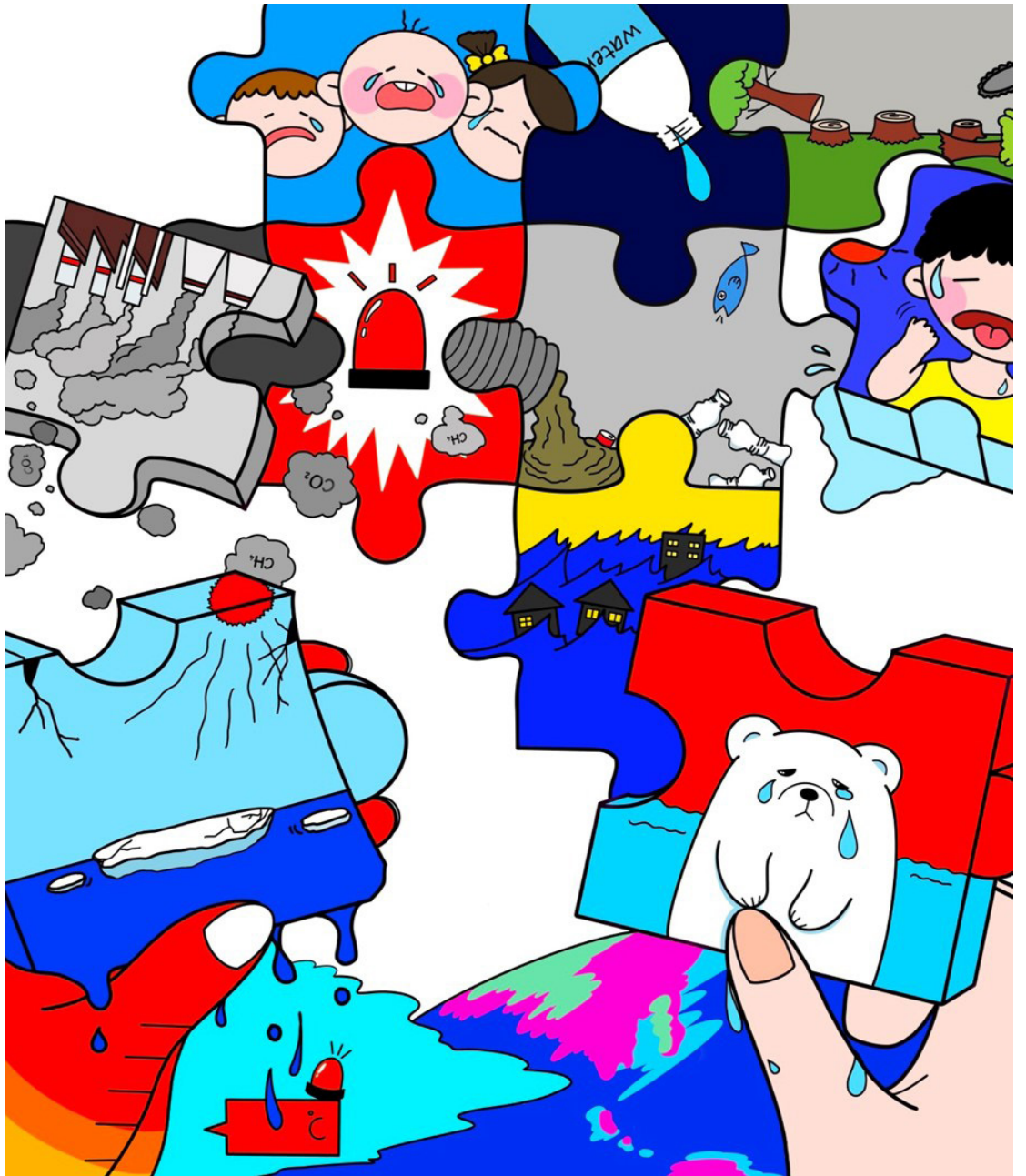
2023



기상청

탄소중립을 위한 기후변화과학의 이해

2023



2023년 제4회 달콤기후 공모전 수상작



발간 배경

지구온난화에 따른 급격한 기후변화로 지구촌 곳곳에서 한파, 폭설, 홍수, 가뭄 등 이상기후¹⁾가 더 자주, 더 강하게 발생하고 있다. 2022년 파키스탄에서 6~10월 동안 심각한 대홍수가 발생하여 1,700여명이 사망하고 15억 달러 이상의 경제적 피해가 발생하였고, 유럽에서는 500년 만의 최악의 가뭄으로 200억 달러의 경제적 피해가 발생하였으며 가뭄은 산불로 이어져 심각한 토지 황폐화와 수많은 이재민을 발생시켰다.

우리나라에서도 역대급 폭우, 강력한 태풍, 최장기간 장마·가뭄 등 자연재해가 증가하고 있으며 일상생활에도 많은 영향을 미쳐 기후변화에 대한 심각성을 체감하고 있다. 전 세계 많은 국가들이 온실가스 감축 목표를 설정하고 탄소중립을 선언하는 등 발 빠르게 대응하고 있으며 우리나라에서도 지자체, 공공기관 등 전 부처에서 온실가스 감축, 적응 이행수단을 포함한 정책을 수립하는 등 기후위기 대응을 위한 노력이 가속화되었다.

이러한 흐름에 발맞춰 기상청에서도 탄소중립 사회로의 이행 과정에서 역할 강화를 위한 적극적인 노력을 지속하였다. 그 결과로 「기후위기 대응을 위한 탄소중립·녹색성장 기본법 시행령」에 기후 위기의 감시 및 예측에 관한 기상청의 총괄·지원 기능을 규정하였고, 온실가스를 다량으로 배출하는 사업 등에 대해서는 기후변화에 미치는 영향이나 기후변화로 인하여 받게 되는 영향에 대한 분석·평가를 실시해야 하는 기후변화영향평가의 전문 검토기관으로 국립기상과학원이 지정되도록 하였다. 또한, 기후변화영향평가 방법 등에 관한 규정(환경부 고시)에는 기상관측자료를 활용한 기후변화 현황과 국가 기후변화 표준 시나리오 등 기상청의 기후변화 예측자료를 활용하도록 정하는 등 기후위기 시대에 탄소중립 실현에 기여하기 위한 기상청의 역할을 공고히 하였다.

1) 기온, 강수량 등 기후요소가 평년(1991~2020년)에 비해 현저히 높거나 낮은 수치를 나타내는 극한 현상으로써, 90% 초과 또는 10% 미만 범위를 적용함

이처럼 기후변화에 체계적으로 대응하기 위해서는 기후변화에 대한 정확한 관측과 신뢰도 높은 예측 정보가 중요하며 기후변화과학 정보는 일부 전문가·담당자를 위한 정보가 아니라 기후위기 시대를 살아가는 우리 모두가 알아야 할 필수정보가 되었다. 「탄소중립을 위한 기후변화과학의 이해」는 탄소중립 및 기후위기 대응의 기본이 되는 과학적 근거에 대해 기상청에서 연구·분석한 보고서, IPCC²⁾ 보고서 등의 주요내용을 발췌하여 종합적으로 수록하였고 관련 발간물, 정보지 제공 현황 등을 포함하였다. 기후변화과학 정보에 대한 전반적인 이해를 통해 관계부처, 기관 등 관련 업무 수행 시 의사결정을 지원하고 기후변화 교육, 기후변화과학 이해 확산 등의 업무에 활용하고자 한다.

내용 구성

‘기후변화과학’은 온실가스 농도 변화에 따라 발생하는 기후변화 현황 관측, 기후변화가 일상생활에 미치는 영향, 단계별 온실가스 배출 시나리오에 따른 미래 기후변화 예측 분야로 정의된다.

I. 기후변화 관측에서는 기후변화 관측 업무소개, 관측자료의 특징과 장기 추세, 관련자료 활용 등에 대한 내용, **II. 기후·기후변화 분석**에서는 분석에 필요한 기후감시요소, 전 세계 및 우리나라 이상기후 현황 및 기후변화 추세에 대해 수록하였다. **III. 기후·기후변화 예측**에서는 기후전망, 기상 가뭄 전망, 미래 기후변화 전망(기후변화 시나리오), 기후변화의 부문별 영향 등에 대한 내용, **VI. 기후 변화 이해확산**에서는 기후변화 원인, 영향, 예측에 대한 과학적 이해를 높여 탄소중립에 대한 공감과 실현 의지를 높이고자 기상청에서 추진하는 이해확산 프로그램에 대한 소개를 수록하였다.

2) Intergovernmental Panel on Climate Change; IPCC, 기후변화를 과학적으로 규명하기 위해 세계기상기구(WMO)와 유엔환경계획(UNEP)이 1988년 공동으로 설립한 국제기구

Contents_목차

들어가며	iv
I 기후변화 관측	1
1. 우리나라 기후변화 관측 개요	3
2. 온실가스 등 기후변화 관측 요소	11
3. 기후변화 관측자료 분석	15
4. 분석자료 제공 및 활용	31
II 기후·기후변화 분석	35
1. 기후·기후변화 분석 개요	37
2. 전지구 이상기후 및 기후변화 현황	47
3. 우리나라 이상기후 및 기후변화 현황	51
4. 해양 기후·기후변화 분석	67
5. 분석자료 제공 및 활용	76
III 기후·기후변화 예측	81
1. 기후예측 정보	83
2. 기후변화예측 정보	91

IV 기후변화과학 이해확산 133

- 1. 기후변화과학 이해확산 프로그램 135
- 2. 기후변화과학 교육 141

V 기후변화 국제협력 145

- 1. 국제협력 현황 147
- 2. 「IPCC 제6차 평가보고서(AR6) 종합보고서」 주요내용 · 151

[부록] 157

- 1. 기후정보포털 소개 159
- 2. 기상청 기후·기후변화 관련 발간물 및 정보지 165
- 3. 용어설명 170
- 4. 제4회 달콤기후 공모전 수상작 177
- 5. 기상청 기후·기후변화 업무 소개 178

[출처 및 참고문헌] 179

들어가며

기후변화의 정의 및 사회·경제적 영향

기후변화란 화산분출, 태양에너지 변화 등 자연적인 원인과 화석연료 과다사용에 따른 대기 중 온실가스 증가와 같은 인위적 원인에 의해 기후가 변화하는 것을 말한다. 이산화탄소, 메탄, 아산화질소, 염화불화탄소 등의 온실가스는 태양복사 에너지의 짧은 파장은 투과하고 지구 표면에서 반사되는 복사에너지는 흡수하여 재방출됨으로써 대기와 지구 지표 온도를 상승시키며, 이로 인한 지구온난화는 농업, 생태계, 산업·경제, 생활 양식 등 전반에 영향을 미친다.

생태계는 기후변화에 따른 생물다양성 감소, 서식지 이동 양태 변화 등 다양한 측면에서 영향이 보고되고 있으며, 종에 따라서는 결국 멸종까지 이르게 될 것으로 예측된다. 농업 작물의 경우 온난화로 인한 고온과 이상저온 등으로 작물의 수량과 품질이 떨어지는 등 피해를 주며, 기온 상승과 이상기후는 관련 질환의 악화 위험을 높이고 감염병 발생 유행의 위험을 증가시키는 원인이 되기도 한다. 실제로 남극과 북극의 빙하에는 수만 년 전 활동하다가 빙하에 갇힌 바이러스들이 존재하고 있으며 기온이 상승함에 따라 이들이 활동을 재개할 가능성이 높아지고 있다.

지구온난화는 폭염, 호우, 가뭄, 산불 등 자연재난 발생빈도도 증가시킨다. 지구 온도가 상승하게 되면 따뜻한 대기는 더 많은 수증기를 보유할 수 있게 되고 대기 중 수증기량은 강수량 증가와 연결된다. 또한, 대기에 필요한 수증기를 공급하기 위해 지상의 증발과 증산이 증가해 가뭄이 더 자주 발생하고 건조해진 초목 지대에서 산불 발생이 증가하며, 식물이 타면서 대기로 방출되는 이산화탄소가 기후를 더욱 온난화시킬 수 있다. 기후변화에 관한 정부 간 협의체(IPCC) 제6차 평가보고서(기후변화 2021 과학적 근거)¹⁾에 따르면 지구온난화로 지구 평균 온도가 1℃ 높아질 때마다 극한 호우 강수량이 약 7% 증가할 것으로 전망했고 강한 태풍 발생 비율이 높아질 것으로 전망하였으며, 지구온난화로 극한 고온 현상의 강도와 빈도가 뚜렷하게 증가할 것으로 예측하였다. 이렇듯 지구온난화로 인한 기후변화는 폭염, 호우, 가뭄, 태풍 등 심각한 기상재해와 피해를 발생시킬 수 있다.



1) IPCC는 전 세계 수천 명의 과학자, 기상학자, 해양학자 등 각 분야의 전문가들과 195개국 정부 대표가 참여하여 기후변화의 과학적 근거, 영향과 미래 위험, 적응 및 완화 방법에 대한 평가보고서를 주기적으로 발간하고 있음

기후변화 대응을 위한 국제사회 노력

산업화 이후로 온실가스는 급격하게 증가하였으며, 국제사회는 기후변화에 본격적으로 대응하기 위해 1992년 유엔기후변화협약(UNFCCC)²⁾을 체결하여 ‘인간이 기후 체계에 위험한 영향을 미치지 않을 수준으로 대기 중의 온실가스 농도를 안정화’하자는 목표를 설정하였다. 이후 1997년 온실가스에 대한 구체적인 방안을 담고 있는 ‘교토의정서(Kyoto Protocol)³⁾’를 채택하여 선진국 위주의 온실가스 감축 목표를 설정하였다. 2015년에는 2020년 만료되는 ‘교토의정서’를 대체·보완할 신(新) 기후체제로 ‘파리협약(Paris Agreement)⁴⁾’을 체결하였고, 우리나라를 포함한 전 세계 195개 국가들이 산업화 이전 수준과 비교하여 지구 평균 온도가 2°C 이상 상승하지 않도록 유지하고, 더 나아가 온도 상승 폭을 1.5°C로 제한하기 위해 노력하기로 하였다.

IPCC 1.5도 특별보고서(2018년)에 따르면 산업화 이전 대비 2°C 상승할 경우 기후변화로 인한 위험이 크게 늘어나며, 1.5°C 온도 상승 폭을 제한하기 위해서는 2050년 전에 전 지구적 탄소중립⁵⁾이 필요하다는 의견을 제시하였다. 세계 주요국들은 기후위기에 대한 강력한 대응 의지의 표현으로 온실가스 배출량을 꾸준히 감소시켜 2050년까지 탄소중립을 달성하겠다는 목표를 선언하였고, 참여국들은 5년마다 감축 목표치와 함께 국가별 기여 방안(NDC)⁶⁾을 제출하여 실현 가능한 목표를 스스로 설정하여 자발적인 기후변화 대응 노력을 기울이고 있다.



2) United Nations Framework Convention on Climate Change; UNFCCC, 1992년 리우 유엔환경개발회의(UNCED)에서 채택된 기후변화를 막기 위한 국제 협약

3) 지구온난화 규제 및 방지를 위해 1997년 12월 일본 교토에서 채택된 국제협약. 캐나다, 미국, 유럽연합(EU), 일본 등 37개 선진국의 온실가스 감축 목표치를 규정함. 일부 선진국의 감축 의무 부담 거부와 개발도상국의 급격한 온실가스 배출량 증가가 복합적으로 적용되어 온실가스 배출량 급증하는 한계가 있음

4) 전 세계 195개 국가들이 온실가스 감축을 위해 2015년 12월 프랑스 파리에서 맺은 국제협약. 이전 기후협약들과 차별화된 특징은 기존 선진국에 국한되었던 이산화탄소 감축 의무가 개발도상국으로 확대되었으며 서명한 모든 국가가 자발적으로 기여방안을 제출하고 이를 평가받음

5) 온실가스 배출량이 토양, 산림, 해양과 같은 흡수체에 의해 자연적으로 흡수하는 양과 같거나 적어져 실제로 대기 중 온실가스가 추가 배출되지 않도록 하는 것을 말하며 넷제로(net-zero)라고도 부른다.

6) Nationally Determined Contribution; NDC, 국가결정기여, 파리협정의 장기 온도목표 달성을 위해 각국이 ‘스스로’ 결정하여 제출한 기후변화 대응 및 온실가스 감축 목표

탄소중립 실현을 위한 우리나라 기후변화 대응

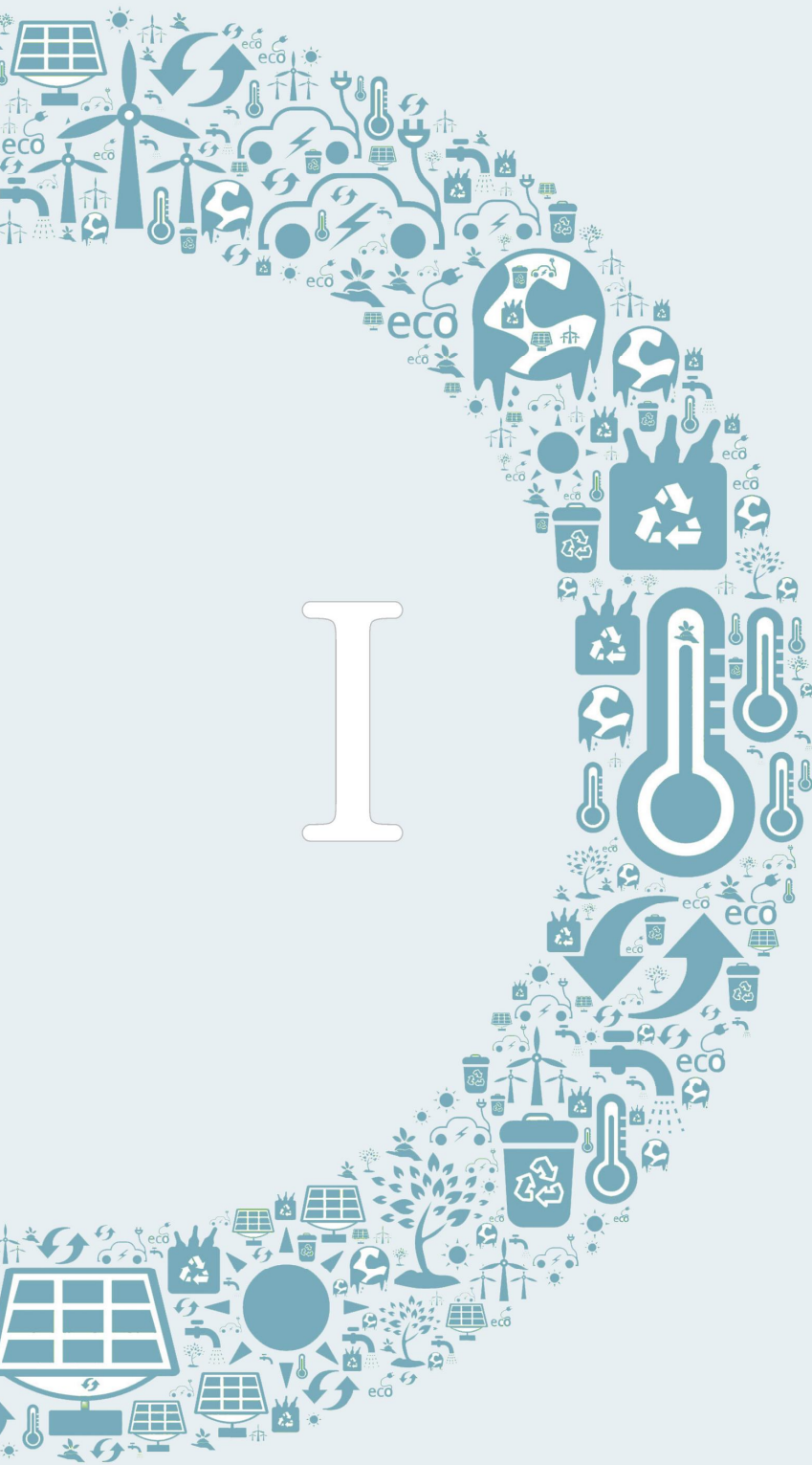
우리나라는 2020년 10월 ‘2050 탄소중립’ 선언을 통해 온실가스 감축으로 2050년에 탄소중립을 달성하고 환경과 경제의 조화로운 발전을 도모하는 국가 비전을 제시하였다. 2021년 9월 「기후위기 대응을 위한 탄소중립·녹색성장 기본법」(이하 탄소중립기본법)을 제정하여, 전 세계에서 14번째로 2050 탄소중립 비전과 이행체계를 법제화한 국가가 되었다. 이에 근거해 기상청장 등이 정부위원으로 구성된 ‘2050 탄소중립녹색성장위원회’가 출범했고 ‘탄소중립·녹색성장 국가전략 및 제1차 국가 기본계획(‘23.4.)’을 수립하였다. 국가 기본계획은 탄소중립·녹색성장에 관한 최상위 법정 계획(‘23~’42)으로 환경부, 산업통상자원부, 국토교통부, 과학기술정보통신부, 기획재정부, 기상청 등 20개 관계부처가 참여하여 국가 비전 실현을 위한 부문별 감축 정책과 이행기반 강화 정책을 제시하였다. 기상청은 기후위기 적응, 녹색성장, 정의로운 전환, 인력양성·인식 제고, 국제협력 분야 정책을 이행하고 있으며, 특히, 적응대책 중 ‘기후위기 감시 체계 및 예측기술 강화’ 과제의 주관부처로서, 입체적 감시역량 강화와 기후변화 시나리오 정보 생산·제공을 통해 다양한 적응 주체의 현장 적용성을 높인 적응정보 활용을 지원하고 있다.

또한 환경부 주관의 부처 합동으로 국가 단위의 적응대책을 수립하고 있다. 2023년 6월에는 기후위기 피해 예방과 저감에 한계를 극복하기 위해 현장에 적용할 수 있는 액션플랜을 보강하고, 사회 전반 적응 인프라를 강화하기 위한 ‘제3차 국가 기후위기 적응 강화대책(‘23~’25)’을 수립하였다.

기상청은 기존 3차 적응대책부터 추진해 온 기후변화 입체감시 체계 확대, 기후변화 시나리오 생산과 활용성 제고, 홍수 대응력 제고 및 선제적 가뭄 대응을 위한 서비스 강화, 기후변화 홍보·교육 및 국제협력 부분의 강화 외에도, 기후변화 상황지도 서비스, 차세대 기후예측시스템 개발 추진, 폭염·한파 영향예보 서비스 제공, 재난안전문자 직접 발송 등을 신규과제로 추가하여 기후재난 대응역량 강화를 통한 탄소중립 실현을 추진하고 있다.

아울러, 기상청은 기후변화 대응을 위해 수립된 국가정책의 각 전략들을 체계적으로 이행하기 위해 5년마다 기후업무발전 기본계획을 수립하고 있으며, 우리나라 기후업무의 발전 목표와 정책방향을 설정하여 추진함으로써 기후위기로부터 안전한 사회를 선도하는 선진 기후서비스를 실현하고자 한다.

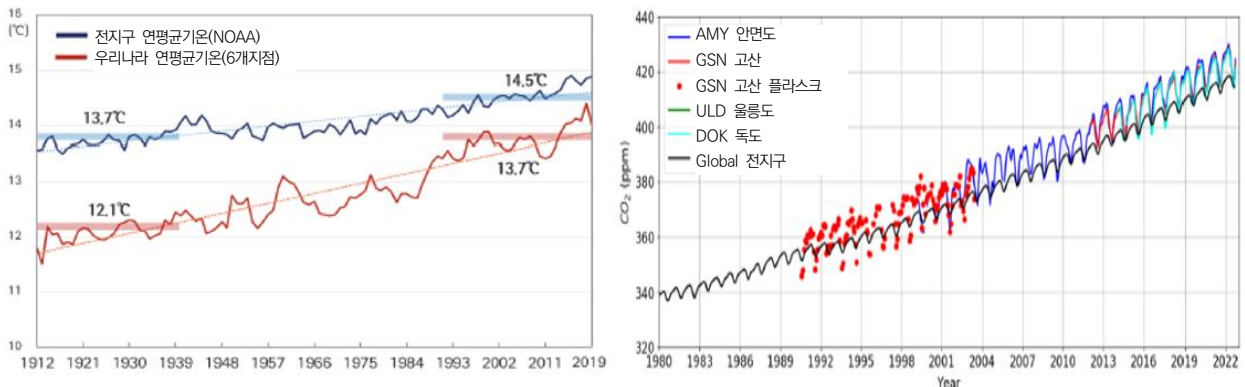




기후변화 관측

1. 우리나라 기후변화 관측 개요
2. 온실가스 등 기후변화 관측 요소
3. 기후변화 관측자료 분석
4. 분석자료 제공 및 활용

기후변화에 관한 정부간 협의체(IPCC) 제6차 평가보고서(기후변화 2021 과학적 근거)에 따르면 인간의 영향에 의해 과거 2000년 동안의 속도에 비해 최근에 유례없이 빠른 속도로 기후가 온난화되었다고 밝혔다. 기온과 이산화탄소(CO₂) 농도 변화 추세 비교를 통해 온실가스 배출로 인한 기온 상승이 뚜렷이 나타났으며, 우리나라 최근 30년(1991~2020년) 연평균기온은 과거(1912~1940년)에 비해 1.6℃ 상승하였고, 이산화탄소(CO₂) 농도(2021년)는 전지구에 비해 +7.4 ppm 높게 나타나, 온난화·도시화가 빠르게 진행되고 있음을 알 수 있다. 이처럼 급격하게 증가하는 온실가스를 감축하고 미래 기후변화에 대응하기 위해서는 기후변화 원인물질에 대한 모니터링이 매우 중요하며, 이를 위해 지상과 대기 상층의 온실가스를 관측하고 있다. 또한 기후변화 원인물질의 대기 중 농도를 비롯하여 지구대기의 물리·화학적 조성에 대한 관측자료, 자연·인위적 대기 조성 변화 정보 등을 생산·제공하고 있으며 관측기술 및 감시 확대를 위한 기술개발 등을 수행하고 있다.



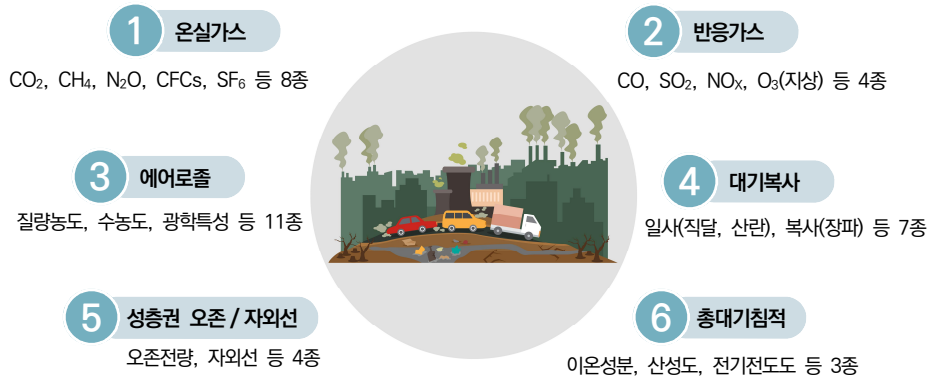
[그림 1-1] 전지구와 우리나라의 연도별 연평균기온(좌) 및 이산화탄소(CO₂) 농도(우) 변화 추세

가. 우리나라 기후변화 관측 업무소개

우리나라 기후변화 관측 업무는 1987년 충북 단양군에 위치한 소백산 기상관측소에서 시작하였으며 대기질, 산성비, 대기복사 등을 관측하였다. 1992년 전남 무안군에서 온실가스를 관측하기 시작하여 이후 포항, 안면도, 고산, 울릉도독도에 기후변화감시소를 설치하여 한반도를 삼각형으로 감시하는 관측망을 구축하였으며, 세계 기상기구(WMO)¹⁾ 지구대기감시 프로그램(GAW)²⁾에 참여하여 국제적 수준의 관측 및 자료의 품질관리를 통해 생산된 관측자료를 WMO 세계자료센터와 공유하고 있다. 또한, 2023년부터 저궤도 인공위성을 통해 관측한 한반도 및 동아시아 온실가스 표출정보를 분석하여 제공하고 있다.

1) World Meteorological Organization; WMO: 기상 관계의 국제 활동을 관장하기 위해 1950년에 설립된 국제연합(UN)의 특별기구로 현재 193개 회원국이 참여하고 있으며 기상, 기후, 수문 발전을 위해 협력하는 국제조직임

2) Global Atmosphere Watch; GAW: 세계기상기구(WMO)에서 지구온난화, 오존층 파괴, 산성비 등과 같은 환경문제에 대처하기 위해 시작한 과학기술 프로그램



[그림 I-2] 우리나라 기후변화 관측 요소

<표 I-1> 우리나라 기후변화 관측 연혁

연혁	
1987년	■ 기상연구소 산하 소백산기상관측소 배경대기오염 상시관측 시작
1990년	■ 고산 기후변화감시소 온실가스 플라스크 관측 시작
1992년	■ 무안기상대 온실가스(이산화탄소, 메탄, 아산화질소, 염화불화탄소) 관측 시작
1994년	■ 포항 기후변화감시소 세계기상기구(WMO) 지구대기감시 지역급 관측소 등록, 성층권 오존(오존전량), 자외선 관측 시작
1996년	■ 다양한 관측요소를 생산하기 위하여 소백산배경대기관측소 안면도 이전
1998년	■ 안면도 기후변화감시소 세계기상기구(WMO) 지구대기감시 지역급 관측소 등록
2001년	■ 지구대기감시보고서 발간 시작
2001~2005년	■ 온실가스, 에어로졸 관측 확대, 국제비교실험 참가 시작
2002~2006년	■ 온실가스 관측용 국제표준가스 국산화 기술개발 완료
2012년	■ 세계기상기구(WMO) 육불화황(SF ₆) 세계표준센터 ³⁾ 지정
2013년	■ 고산 기후변화감시소 세계기상기구(WMO) 지구대기감시 지역급 관측소 등록
2014년	■ 울릉도독도 기후변화감시소 관측 시작 ■ 안면도 기후변화감시소 전지구 탄소전량 관측망(TCCON ⁴⁾) 지정
2018년	■ 안면도, 고산, 울릉도독도, 포항의 4개 기후변화감시소와 서울대, 남극세종기지 등 7개의 위탁관측소로 기후변화감시망 조정
2016~2020년	■ 기후변화감시자료 품질관리 및 모니터링 체계 구축
2023년	■ 국내외 저궤도위성 온실가스(이산화탄소, 메탄) 및 오존 자료 수집 및 대국민 서비스체계 구축 ■ 울릉도 기후변화감시소 세계기상기구(WMO) 지구대기감시 지역급 관측소 등록

나. 우리나라 기후변화감시소

1996년 중부 서해안에 안면도 기후변화감시소를 시작으로 고산, 울릉도독도, 포항 기후변화감시소를 설립 함으로써 우리나라를 둘러싸는 관측망을 구축하였고, 서울대, 남극세종기지 등 대학 및 유관기관에서 운영하는 7개의 위탁관측소도 함께 포함하고 있다.

이 중 안면도, 고산, 포항, 울릉도는 지구온난화를 비롯한 환경문제에 대처하기 위해 운영되고 있는 세계 기상기구 지구대기감시 프로그램(GAW)에 지역급 관측소로 등록되었고 다음과 같은 업무를 수행 중이다.

3) 교토의정서 규제 대상 6대 온실가스 중 하나인 육불화황 관측에 필요한 표준가스 제조·보급, 측정 기술 교육, 국제 비교 실험 주관 등 육불화황을 관측하고 분석함
4) Total Carbon Column Observing Network

- 지구대기감시 프로그램(GAW)에서 권고하는 온실가스, 반응가스, 에어로졸, 대기복사, 성층권 오존/자외선, 총대기침적 분야의 총 37종 관측
- 지구대기감시 프로그램(GAW) 관측지침에 따른 지속적인 관측환경 정비 및 관측자료 품질관리 체계 표준화를 통해 동북아시아 지역을 대표하는 수준 높은 관측자료를 세계기상기구(WMO) 세계자료센터와 공유
- 관측자료 생산 안정화 및 자료 품질에 대한 신뢰성 제고를 위하여 국제비교실험 참여
- 관측환경 개선, 관측자료 품질관리 등을 통해 산출된 자료를 연구기관, 세계자료센터 등 국내외 공유



[그림 I-3] 우리나라 기후변화감시소 위치 및 관측 현황

<표 I-2> 우리나라 기후변화감시소 정보

지점명	위·경도/해발고도(m)	관측분야(관측시작 연도)	비고
안면도	36.53°N 126.32°E/47.0	온실가스(1999), 반응가스(1998) 에어로졸(1999), 총대기침적(1997) 성층권 오존(2013), 자외선(1999) 대기복사(1999)	WMO/GAW 지역급 관측소 (1998, AMY ^{안면도})
고산	33.29°N 126.16°E/71.0	온실가스(1990), 반응가스(2012), 에어로졸(2011), 총대기침적(1998), 성층권 오존(2010), 자외선(1999), 대기복사(2008)	WMO/GAW 지역급 관측소 (2013, GSN ^{고산})
울릉도독도	37.48°N 130.90°E/220.9 (울릉도)	온실가스(2012), 반응가스(2015) 에어로졸(2012), 총대기침적(1997) 자외선(2012)	WMO/GAW 지역급 관측소 (2023, ULD ^{울릉도})
	37.23°N 131.86°E/24.0 (독도)	온실가스(2012)	
포항	36.02°N 129.37°E/2.5	성층권 오존(1994), 자외선(1999)	WMO/GAW 지역급 관측소 (1994, POH ^{포항})

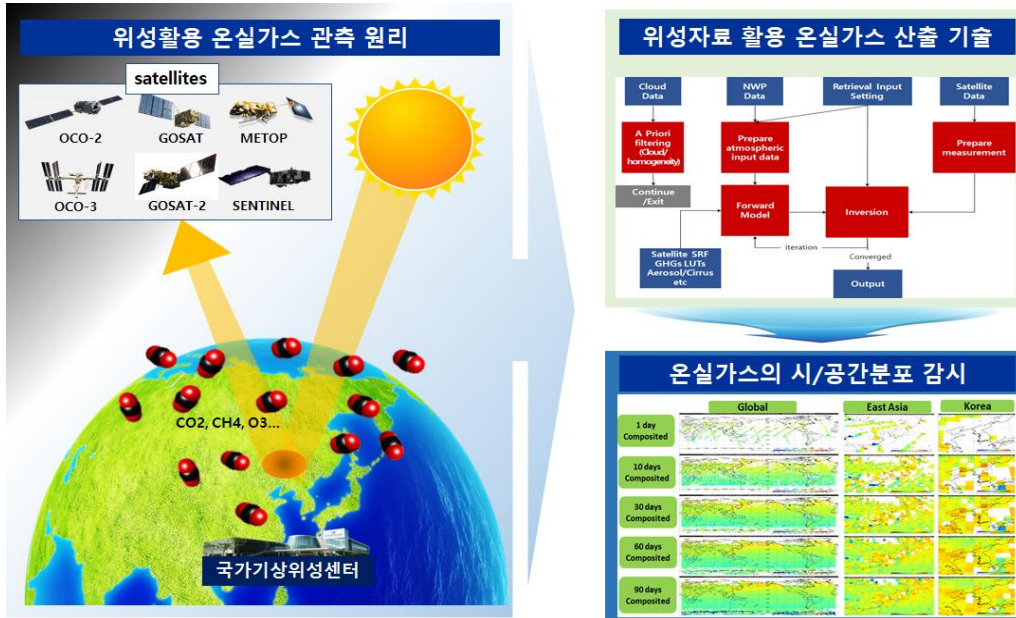
위탁기관명	위·경도	관측분야(관측시작 연도)	비고
연세대학교	37.57°N 126.95°E (서울)	성층권 오존, 자외선(2004)	WMO/GAW 지역급 관측소 (SEO ^{연세대})
광주과학기술원	35.22°N 126.83°E (광주)	에어로졸(2007)	
서울대학교	37.75°N 127.15°E (광릉수목원)	산림 이산화탄소(2008)	
극지연구소	62.22°S 58.78°W (남극세종과학기지)	이산화탄소(2010)	WMO/GAW 지역급 관측소 (KSG ^{세종})
	74.62°S 164.23°E (남극장보고과학기지)	성층권 오존(2017)	
제주대학교	33.29°N 126.16°E (제주 고산)	라돈(2012)	
숙명여자대학교	37.54°N 126.97°E(서울)	중층대기 수증기, 성층권 오존 (2015)	

<표 I-3> 기후변화 관측 요소

분야	요소	관측 주기	관측장비	안면도	고산	울릉도	독도	포항
온실가스 (8종)	이산화탄소(CO ₂)	1시간	공동감쇠분광기	0	0	0	0	
	이산화탄소 동위원소($\delta^{13}\text{C}$)	1시간		0				
	메탄(CH ₄)	1시간		0	0	0		
	아산화질소(N ₂ O)	1시간		0	0	0		
	육불화황(SF ₆)	1시간	가스크로마토그래프	0	0	0		
	염화불화탄소 (CFC-11)	1시간		0				
	염화불화탄소 (CFC-12)	1시간		0				
	염화불화탄소 (CFC-113)	1시간		0				
반응가스 (4종)	오존(O ₃)	1시간	오존분석기	0	0			
	일산화탄소(CO)	1시간	일산화탄소분석기	0	0	0		
	질소산화물(NO _x)	1시간	질소산화물분석기	0	0			
	이산화황(SO ₂)	1시간	이산화황분석기	0	0			
에어로졸 (11종)	PM10 질량농도	1시간	부유분진측정기	0	0	0		
	PMx 질량농도	1시간	부유분진측정기	0	0	0		
	크기별 수농도 (0.5~20 μm)	1시간	공기역학입자계수기	0	0	0		
	미세입자 크기별 수농도 (0.008~1.2 μm)	1시간	전자기유도입자계수기	0				
	응결핵 수농도 (0.01~3 μm)	1시간	응결핵계수기	0	0			
	광산란계수	1시간	광산란계수측정기	0				
	광흡수계수	1시간	광흡수계수측정기	0				
	광학깊이	수시	태양광광도계	0	0	0		
		1시간	정밀필터복사계					
	연직분포	15분	에어로졸 라이더	0				
	이온성분	6일	저용량 미세먼지채취기	0				
6일		0						
성층권 오존 /자외선 (4종)	오존전량	1일	오존분광광도계	0	0			
	연직분포	주1회	오존존데					0
	자외선A	10분	자외선 측정기	0	0	0		0
	자외선B	10분		0	0	0		0
대기복사 (7종)	직달일사	1시간	직달일사계	0	0			
	태양상향복사	1시간	전천일사계	0				
	태양하향복사 (전천일사)	1시간		0	0			
	산란일사	1시간		0	0			
	지구상향복사	1시간	지구복사계	0				
	지구하향복사	1시간		0				
	순복사	1시간		0				
총대기침적 (3종)	산성도		산성도측정기	0	0	0		
	전기전도도		전기전도도측정기	0	0	0		
	강수이온성분		이온크로마토그래프	0	0	0		

다. 위성 기반의 온실가스 관측

해상, 산악 등 제한된 지상관측소의 한계를 극복하고 전 지구적인 온실가스의 공간적인 분포와 이동, 변동성 등의 감시를 위해서는 위성 관측자료의 활용이 필수적이다. 국가기상위성센터에서는 주요 온실가스인 이산화탄소(CO₂)와 메탄(CH₄)을 감시하기 위하여 미국 항공우주국(NASA)⁵⁾, 일본 우주항공연구개발기구(JAXA)⁶⁾, 유럽 기상위성개발기구(EUMETSAT)⁷⁾의 위성 자료를 수집하고 동북아시아 지역 특성을 반영·분석하여 일별·월별 영상 형식으로 온실가스 정보를 제공하고 있다.



[그림 1-4] 위성을 활용한 온실가스 관측, 산출 및 시·공간 변동성 감시 개념도

- 유럽, 미국, 일본, 중국 등의 나라에서는 온실가스 감시를 위한 전용 위성 개발과 온실가스의 시·공간적인 분포 감시를 위한 독자적인 산출기술 개발을 통하여 온실가스 감시 기술을 주도하고 있음
- 위성 관측 온실가스의 국제적인 정확도 수준은 연구 단계에서 현업 운영으로 전환하는 단계로 지상 관측 온실가스와 비교하여도 유사한 수준임
- 수집된 위성 기반의 온실가스 자료는 기후변화감시소(안면도) 관측자료와 비교를 통하여 정확도를 평가하고 있으며, 온실가스의 시·공간적인 변동성 분석을 수행하고 전지구, 동아시아, 한반도 영역에 대하여 일별·월별 영상 형식으로 국가기상위성센터 누리집(<https://nmsc.kma.go.kr>)을 통하여 서비스 중임

5) National Aeronautics and Space Administration; NASA: 우주 계획 및 장기적인 일반 항공 연구 등을 실행하는 국가기관

6) Japan Aerospace Exploration Agency; JAXA: 우주 개발 정책을 담당하는 일본 문부과학성 소속의 독립 행정 법인기관

7) European Organization for Exploitation of Meteorological Satellites; EUMETSAT: 총 30개 유럽 회원국이 합의된 국제 협약을 통해 설립한 정부 간 기구로 위성자료를 활용하여 기상, 기후를 감시

라. 기후변화 관측 국제협력

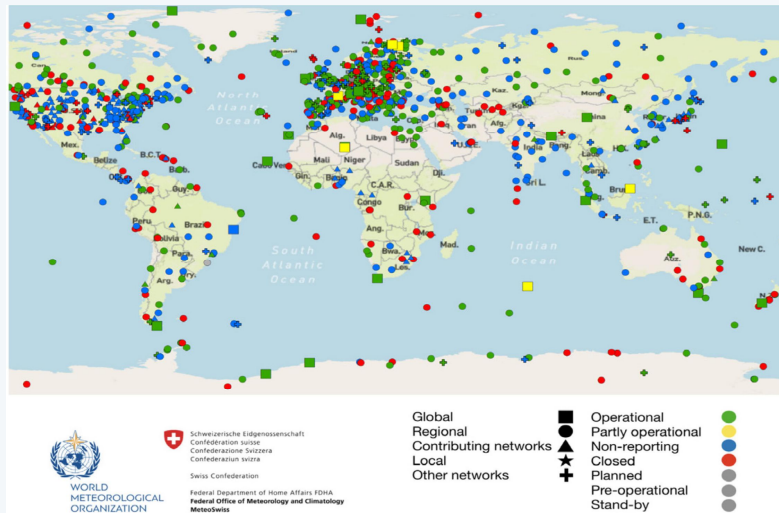
① 세계기상기구 지구대기감시 프로그램(GAW)

세계기상기구 과학기술 프로그램 중 하나인 지구대기감시 프로그램(GAW)은 지구온난화, 오존층 파괴, 산성비 등과 같은 환경문제에 대처하기 위하여 1989년에 시작되었으며 우리나라를 포함한 전 세계 많은 국가들이 참여하고 있다.

- 지구대기감시 프로그램(GAW)은 ① 지구대기의 화학조성에 대한 과학적이고 신뢰할 수 있는 관측자료 제공, ② 지구대기의 자연적·인위적인 조성변화 정보 제공, ③ 대기·해양·생물 간의 상호작용 과정에 대한 이해향상을 목적으로 함
- 기상청은 지구대기감시 프로그램(GAW) 지역급 관측소를 안면도, 고산, 포항, 울릉도에서 운영 중에 있음. GAW에서 권장하는 온실가스, 반응가스, 에어로졸, 대기복사, 성층권 오존/자외선, 총대기침적 등 6개 분야 37종 요소를 관측하고 그 자료를 세계자료센터에 제공하고 있음

※ 세계기상기구(WMO)는 지구환경 실태를 파악하고 과학자료 산출을 위해 지구대기감시 관측소를 지정

- 지구급 관측소: 전지구 규모의 환경문제(기후변화 등) 및 중요성을 다룰 수 있는 관측자료를 생산·제공할 수 있는 곳
- 지역급 관측소: 지구환경문제의 지역적인 면과 지역 규모의 환경문제 및 중요성을 다룰 수 있는 관측자료를 생산·제공할 수 있는 곳



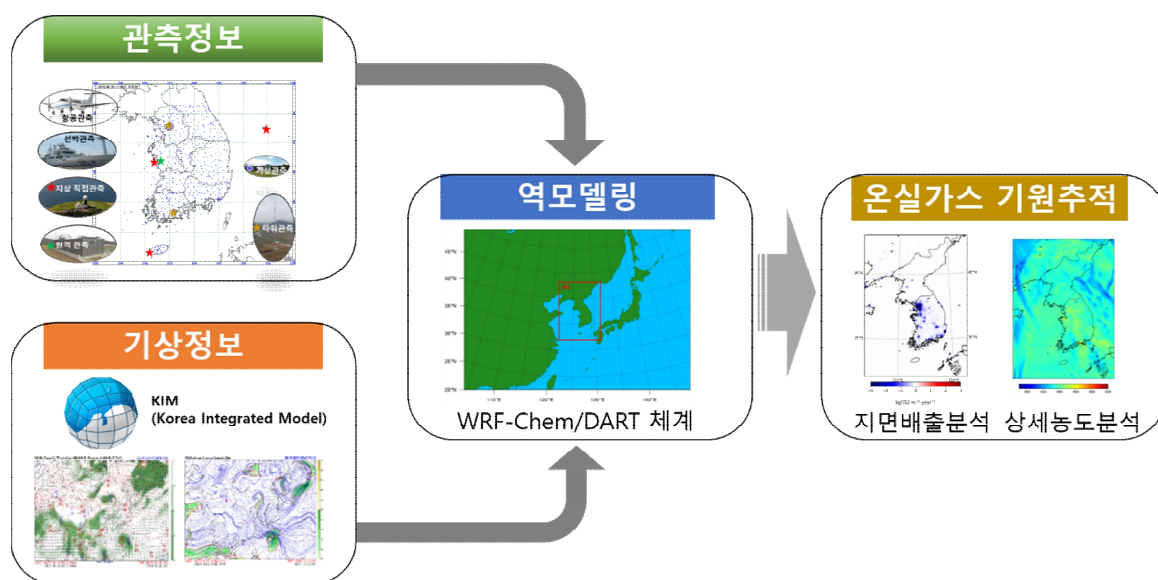
[그림 I-5] 세계기상기구 지구대기감시 프로그램(GAW) 관측소 현황

(※ 출처: Global distribution of GAW stations from the GAW Station Information System (GAWISIS))

- 세계기상기구 지구대기감시 프로그램(GAW)은 각 감시 분야별로 관측자료 품질보증을 위하여 관련된 기구를 구성하여 지원하고 있으며, 전 세계 GAW 관측소는 장비 비교실험 및 적합성 평가 등의 활동을 통해 관측소에서 생산하는 자료들의 품질보증체계를 위한 기술적 지원을 하고 있음

② 세계기상기구 통합 전지구 온실가스 과학정보시스템(IG3IS)⁸⁾ 사업

기후위기 대응과 탄소중립 달성을 위해서 정확한 지역별 온실가스의 배출/흡수에 대한 이해가 중요하다. 세계기상기구(WMO)는 탄소중립의 실현에 실질적으로 도움이 되는 온실가스 배출/흡수의 메커니즘 변화 및 정량 정보를 산출할 수 있는 통합 전지구 온실가스 과학정보시스템(IG³IS)의 개발과 활용을 독려하고 있다. IG³IS는 온실가스 감시 역량을 기반으로 전지구 및 국가, 도시와 지역 및 시설 단위에서 온실가스 배출/흡수 이해를 위한 정량적인 정보를 산출하고, 이 정보를 기반으로 기후위기 대응을 지원하는 것이 목적이다. 우리나라는 그 동안 축적해온 온실가스 관측기술과 수치예보 역량을 바탕으로 우리나라에 적합한 IG³IS 체계를 개발하는 온실가스 기원추적 시스템(INVERSE-KOREA⁹⁾) 사업을 추진하였다. 이 사업은 아시아 최초로 2021년 5월 세계기상기구(WMO)의 공식 IG³IS 사업으로 승인받았다. 2023년 현재 국립기상과학원은 온실가스 기원추적 시스템의 기본체계를 구축하였고, 이산화탄소 배출/흡수 메커니즘 규명을 위한 실험을 수행하고 있으며, 2024년까지 메탄, 육불화황에 대한 정보 산출도 가능하도록 시스템을 개선하고 있다. 향후 온실가스 기원추적 시스템 개발이 완료되면 탄소중립을 위한 과학정보 생산이 가능할 것이며, 국가 인벤토리의 신뢰성 강화를 위한 보완 정보로 활용할 예정이다.



[그림 1-6] 온실가스 기원추적 시스템(INVERSE-KOREA) 개발 개념도

8) Intergrated Global Greenhouse Gas Information System; IG³IS: 대기 중 온실가스 농도 측정과 기상예측 기술을 기반으로 신뢰도 높은 온실가스 배출/흡수 메커니즘 연구 방법
 9) INverse modeling for Validating and Evaluating the Reduction of Sectoral GHG Emissions in Korea

가. 온실가스

온실가스는 지구온난화를 유발하는 대표적인 기체로 한번 배출되면 대기 중 오래 체류하며, 직·간접적으로 복사강제력¹⁰⁾에 영향을 미친다.

이산화탄소(CO ₂)	산림 벌채, 에너지 사용, 화석연료 연소 등으로 배출되며 온실가스 중 가장 많은 양을 차지하며 온실효과에 첫 번째로 기여함
이산화탄소 동위원소($\delta^{13}\text{C}$)	이산화탄소 중 탄소 동위원소(¹³ C, ¹² C)의 비율($\delta^{13}\text{C}$)을 이용하여 기원을 밝힘 ex) 화석연료의 $\delta^{13}\text{C}$ (-28%)가 일반 대기수준(-8%)보다 낮음
메탄(CH ₄)	가축 사육, 습지, 논, 음식물쓰레기 등에서 배출되며 두 번째로 영향력이 큰 온실가스로 100년을 기준으로 이산화탄소(CO ₂)와 같은 농도로 가정할 시 약 28배 강한 온실효과가 나타남
이산화질소(N ₂ O)	석탄, 폐기물 소각, 화학 비료 사용 등으로 배출되며 온실가스 중 온실효과에 세 번째로 기여하며, 100년을 기준으로 이산화탄소(CO ₂)와 같은 농도로 가정할 시 약 273배 강한 온실효과가 나타남
육불화황(SF ₆)	반도체, 자동차, 전기절연체, 냉매 등의 생산공정에서 배출되며 대기 중 존재하는 양이 1조분의 1로 적으나, 100년을 기준으로 이산화탄소(CO ₂)와 같은 농도로 가정할 시 약 24,300배 강한 온실효과가 나타남
염화불화탄소(CFCs)	프레온 가스로 알려져 있으며 냉장고 냉매, 발포제, 충전제 등에서 배출되며 몬트리올 의정서(Montreal Protocol) ¹¹⁾ 에 의해 대기 중 농도가 차츰 줄어들고 있으나 100년을 기준으로 이산화탄소(CO ₂)와 같은 농도로 가정할 시 약 6,230~12,500배 높은 온실효과가 나타남

지구온난화지수(GWP¹²⁾)란 온실가스별 지구온난화 정도를 같은 양의 이산화탄소와 비교하여 나타낸 값으로, 온실가스가 방출된 후 특정기간 그 가스 1kg의 상대적 온난화 효과는 다음과 같다.

온실가스	이산화탄소	메탄	이산화질소	염화불화탄소	육불화황
지구온난화지수	1	28	273	6,230~12,500	24,300

10) 기후변화를 일으키는 물질들의 영향력을 나타내는 척도로 단위면적 당 에너지 변화율로 표현(W/m²). 양의 복사강제력은 지구-대기 시스템의 에너지를 증가시키고, 음의 복사강제력은 에너지를 감소시킴

11) 1987년 캐나다 몬트리올에서 채택한 환경 협약으로 급격한 오존층 파괴에 대응하기 위해 염화불화탄소 등 오존층 파괴물질의 생산과 사용 규제에 대한 내용을 담고 있음

12) Global Warming Potential

나. 반응가스

반응가스는 자연적 또는 인위적으로 대기 중에 배출되며 다른 가스상 물질들과의 반응성이 높아 대기 중 체류 시간이 짧지만 사람, 생물에 해로운 영향을 준다. 대기화학반응을 통해 이산화탄소(CO₂)를 생성하고 메탄(CH₄)의 소멸을 늦추거나(온실효과) 에어로졸 형성에(냉각효과) 관여한다.

지표 오존(O ₃)	광화학 오염물질, 온실가스, 수산화 라디칼(OH·) ¹³⁾ 의 주요 생성원이며 성층권 오존의 유입 혹은 광화학 반응을 통해 생성됨
일산화탄소(CO)	대기화학반응으로 온실가스(이산화탄소(CO ₂), 메탄(CH ₄))의 대기 수명에 영향을 줌. 탄소화합물 (예: 화석연료), 불완전연소, 산불 등으로 생성됨
질소산화물(NO _x)	질산 에어로졸의 전구체, 대기화학반응으로 지표 오존(O ₃), 이산화탄소(CO ₂), 메탄(CH ₄) 농도 변화에 영향을 줌. 자동차 배기가스, 생물성 연소, 산불, 번개, 토양 등에서 발생함
이산화황(SO ₂)	아황산가스라고 하며 황산 에어로졸의 전구체. 화석연료 연소, 산불, 화산 등에서 발생함. 수산화 라디칼(OH·)과 반응 혹은 액상 표면에 침적으로 소멸됨

다. 에어로졸

에어로졸은 인위적 활동 및 자연적으로 대기 중에 배출되어 수일 동안 체류하는 물질이다. 에어로졸은 대기 중에서 장거리 수송 및 침적 과정을 통해 광화학 반응, 응결, 응집 등으로 화학조성을 변화시킨다. 또한, 태양 복사를 산란(냉각효과)과 흡수(온실효과)하는 성질을 가지고 있으나, 구름형성에 영향을 주어 전 지구적으로 음(-)의 복사강제력을 가진다.

물리특성	에어로졸(PM10 ¹⁴⁾) 질량농도, 크기별 수농도, 응결핵 수농도(총수농도) 등 에어로졸의 기본 정보
광학특성	에어로졸 광산란계수, 광흡수계수, 광학깊이 등 에어로졸 복사강제력 이해를 위한 기본 관측 요소
화학특성	수용성 이온성분 및 원소성분 ¹⁵⁾ 등 에어로졸 발생원 추적을 위한 기초 정보
연직분포	고도별 후방산란계수 및 비편광도 등 에어로졸의 유형(황사, 미세먼지 등), 구름의 고도별 정보

라. 대기복사

대기복사는 태양 복사에너지¹⁶⁾ 중 일부가 대기를 통과하면서 대기를 구성하는 기체와 물질에 흡수하였다가 적외선 형태로 대기로 방출되는 것을 말한다. 대기복사는 태양복사와 지구복사로 구분할 수 있으며 지구가 받는

13) 라디칼은 쌍을 이루지 못한 전자를 포함하는 원자, 이온, 분자를 말함. 수산화 라디칼은 다른 분자들과 반응하려는 경향이 크므로 반응성이 매우 강하고 반감기가 나노초(ns) 정도로 매우 짧음
 14) 눈에 보이지 않을 만큼 미세한 입자의 먼지로, 지름 10 μ m 이하의 먼지. PM(Particulate Matter)이란 대기 중에 떠다니는 고체 또는 액체 상태의 미세한 입자를 뜻함
 15) 수용성 이온성분: 9종(Cl⁻, NO₃⁻, SO₄²⁻, F⁻, Na⁺, K⁺, NH₄⁺, Ca²⁺, Mg²⁺)
 원소 성분: 20종(Al, Ca, Fe, K, Mg, Na, S, Ti, Mn, Zn, Cu, V, Cr, Co, Ni, Sr, Cd, Ba, Pb, Mo)
 16) 모든 물체는 물체의 절대온도의 네제곱에 비례하여 전자기파의 형태로 에너지를 방출하며 다른 물질의 도움을 받지 않고 직접 전달되는 에너지임

태양복사량과 지구에서 방출되는 지구복사량은 균형을 이루고 있지만 온실기체의 양이 변하게 되면 복사평형을 유지하기 위해 이상기후 등이 나타나기 때문에 대기복사는 지구온난화 대응을 위한 필수 감시요소이다.

태양상향복사	지표로부터 반사되거나 구름 및 에어로졸에 의해 산란되어 방출되는 일사 ¹⁷⁾
태양하향복사 (전천일사)	태양으로부터 지표에 도달하는 모든 일사
직달일사	태양으로부터 직접 지표에 도달하는 일사
산란일사	공기입자 및 구름 등에 의해 산란되어 지표에 도달하는 일사
지구상향복사	지표에서 대기로 방출되는 적외복사 ¹⁸⁾
지구하향복사	구름이나 대기에서 지표로 방출되는 적외복사
순복사	태양 및 지구복사의 입사량과 방출량의 차이

마. 성층권 오존

오존은 전체 대기 중 성층권에 90% 가량 존재하며, 성층권 오존은 태양으로부터 입사되는 유해 자외선으로부터 생태계를 보호하며 태양에너지를 흡수하여 전지구 기후변화에 영향을 준다. 특히 대류권과 상호 영향을 미치기 때문에 오존의 연직분포 또한 중요한 감시 요소이다.

오존전량	단위면적 상공 대기층 전체에 분포하는 오존의 누적 총량으로 오존전량의 90% 가량이 성층권에 분포되어 성층권 오존 변화감시의 지표가 됨
연직오존	오존농도의 연직적인 분포

바. 자외선

태양광은 파장에 따라 크게 자외선, 가시광선, 적외선으로 구분되며 가시광선보다 짧은 파장 영역의 태양광을 자외선이라고 한다. 인체에 유해할 뿐만 아니라 가축, 농작물의 생육에도 악영향을 미친다.

자외선A (320~400 nm)	피부 노화와 같은 장기적인 피부 손상을 일으키며 노출 지속시간에 따라 손상이 커지기 때문에 일 누적값으로 분석함
자외선B (280~320 nm)	피부암, 백내장 등을 유발하며 높은 자외선 값일수록 발병확률이 높아지기 때문에 일 최댓값으로 분석함

17) 태양의 복사에너지가 땅에 닿았을 때의 세기

18) 에너지를 흡수한 지표면, 대기, 구름 따위가 방출하는 적외선의 파장을 가진 복사

사. 총대기침적

총대기침적은 대기 중 인위적 및 자연적 발생된 가스와 입자들이 건성침적과 습성침적에 의해 대기로부터 제거되는 과정으로 산성화, 부영양화, 스모그, 기후변화 등의 원인과 영향을 이해하는데 필요한 정보이다.

건성침적	대기 중 가스상·입자상 물질이 중력에 의해 지면에 도달하는 과정 - 분석성분: 산성도(pH), 전기전도도, 수용성 이온 ¹⁹⁾ 성분
습성침적	대기 중 가스상·입자상 물질이 강수(비, 눈, 우박 등)에 의해 제거되는 과정 - 건성침적과 동일한 요소를 분석함

19) 불소(F⁻), 염화물(Cl⁻), 질산염(NO₃⁻), 황산염(SO₄²⁻), 나트륨(Na⁺), 암모늄(NH₄⁺), 칼륨(K⁺), 마그네슘(Mg²⁺), 칼슘(Ca²⁺)

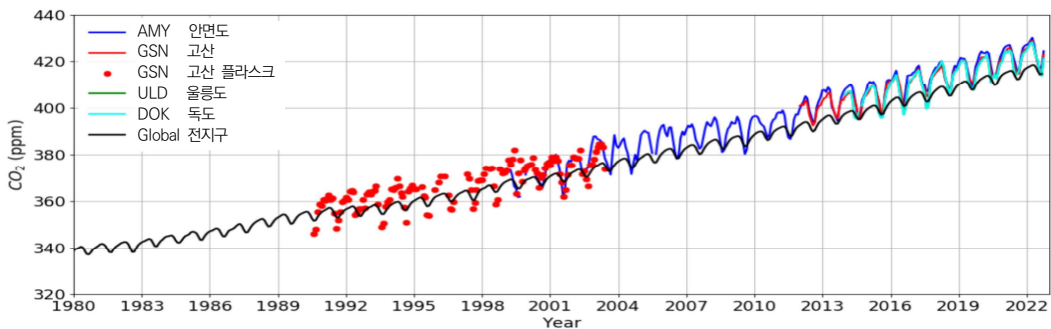
3 기후변화 관측자료 분석

가. 온실가스

- 온실가스는 대기 중에서 복사에너지를 흡수하고 방출함으로써 지구 온도를 상승시키는 가스 종류로, 대기 중에 오래 체류하여 한번 배출되면 계속 누적되어 지구온난화를 가속시킴
- 유엔 기후변화협약(UNFCCC²⁰⁾에서는 이산화탄소(CO₂), 메탄(CH₄), 아산화질소(N₂O), 염화불화탄소화합물(CFCs), 육불화황(SF₆), 수소불화탄소(HFCs), 과불화탄소(PFCs), 삼불화질소(NF₃)를 규제 대상 온실가스로 규정함
- 지구온난화에 가장 크게 기여하는 주요 온실가스는 이산화탄소(CO₂), 메탄(CH₄), 아산화질소(N₂O)이며, 이들은 산업화 이전에도 자연적으로 존재했지만 지표에서 배출한 만큼 흡수되어 일정 농도 수준을 유지하였음. 산업화 이후 인위적으로 배출된 온실가스 양이 증가하여 흡수 이후에도 많은 양이 대기 중에 남아 온실효과를 일으키고 기후변화를 유발함
- 국립기상과학원은 안면도(1999년~), 고산(1990년~), 울릉도(2014년~), 독도(2011년~) 기후변화감시소에서 이산화탄소(CO₂), 메탄(CH₄), 아산화질소(N₂O), 육불화황(SF₆), 염화불화탄소(CFC-11, CFC-12, CFC-113) 등 8종의 온실가스를 관측하고 있음

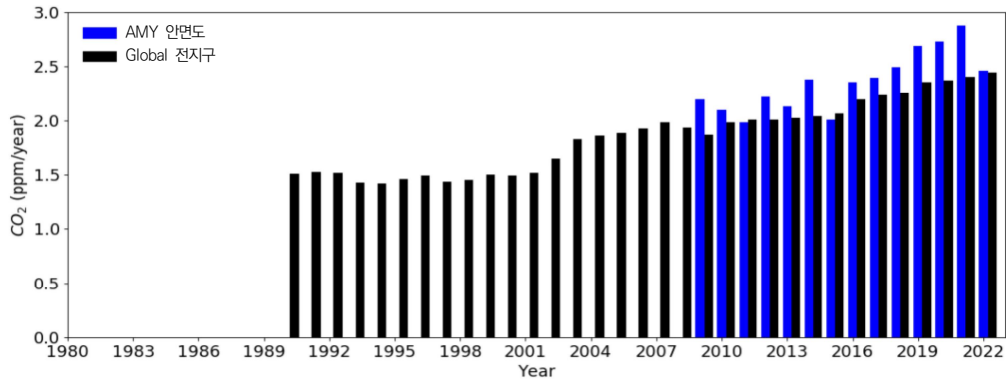
① 이산화탄소(CO₂) 농도 현황 및 장기 추세

- 이산화탄소(CO₂)는 인간의 화석연료 소비증가로 배출되는 대표적인 온실가스로 평균 배경농도가 꾸준히 증가하고 있음
- 북반구는 남반구에 비해 많은 인구와 산업시설이 분포하고 있어 배출량이 많기 때문에 상대적으로 농도가 높음. 북반구에 위치한 우리나라 기후변화감시소의 이산화탄소(CO₂) 농도는 모두 전지구 평균값보다 높고 모든 관측소에서 식생이 활발하게 활동하는 여름철에 최솟값, 그 직전 봄철까지 최댓값을 보임



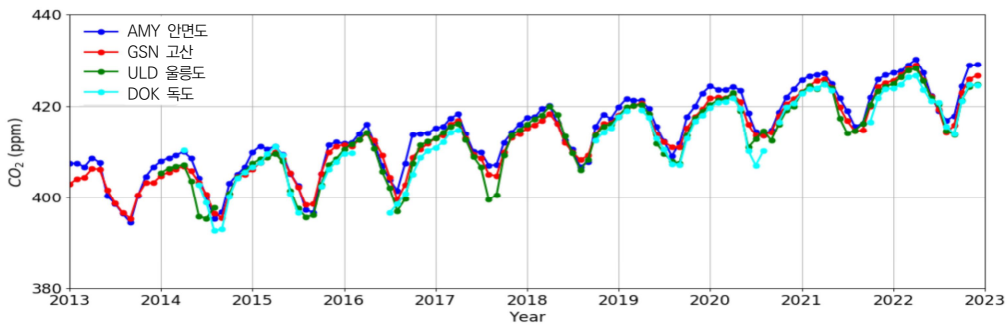
[그림 1-7] 우리나라 및 전지구 연도별 이산화탄소(CO₂) 배경농도

20) United Nations Framework Convention on Climate Change



[그림 I-8] 우리나라 및 전지구 연도별 이산화탄소(CO₂) 증가값(ΔCO₂)의 10년 이동평균

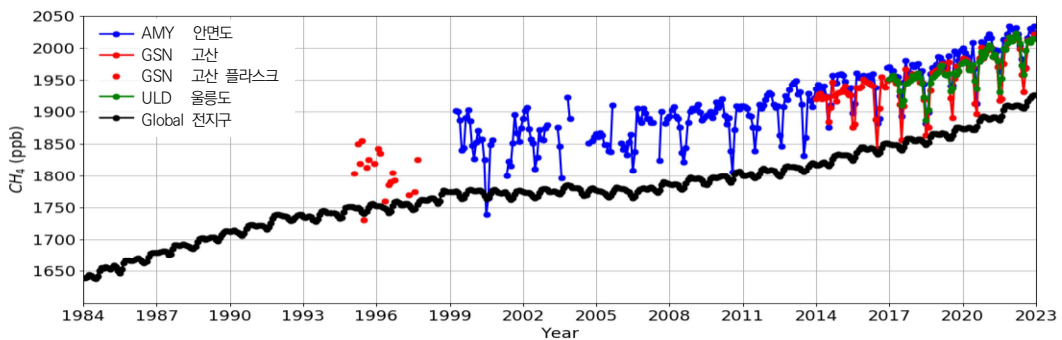
- 안면도와 고산에서 2013년에 처음으로 연평균 농도가 400 ppm을 넘어섰으며, 모든 지점에서 지속해서 증가하고 있음



[그림 I-9] 10년간(2013~2022년)의 대기 중 이산화탄소(CO₂) 농도변화

② 그 외 온실가스 농도 현황 및 장기 추세

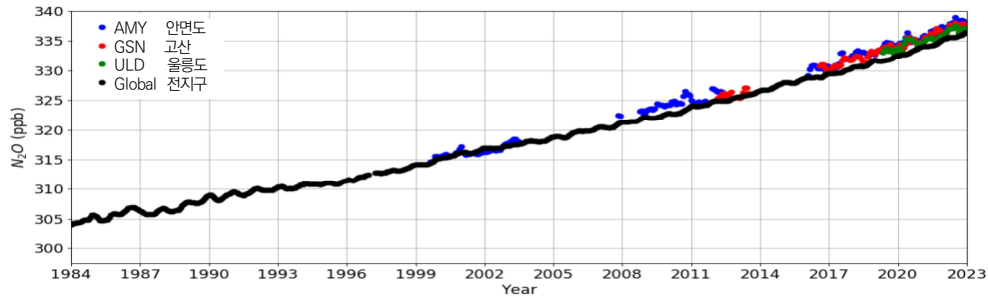
- 메탄(CH₄)
 - 온실가스 중 두 번째로 그 영향력이 크지만, 한번 배출되면 대기 중 체류시간이 다른 온실가스에 비해 짧고(약 9년) 100년 누적 지구온난화지수가 이산화탄소(CO₂)의 28배이기 때문에 감축 시에 가장 빠른 저감효과를 기대할 수 있음. 전 지구적으로 1999~2006년 농도가 비슷하게 유지되다가 2007년부터 다시 증가하여 최근 증가율이 빨라지고 있음



[그림 I-10] 우리나라 및 전지구 연도별 메탄(CH₄) 배경농도

- 아산화질소(N_2O)

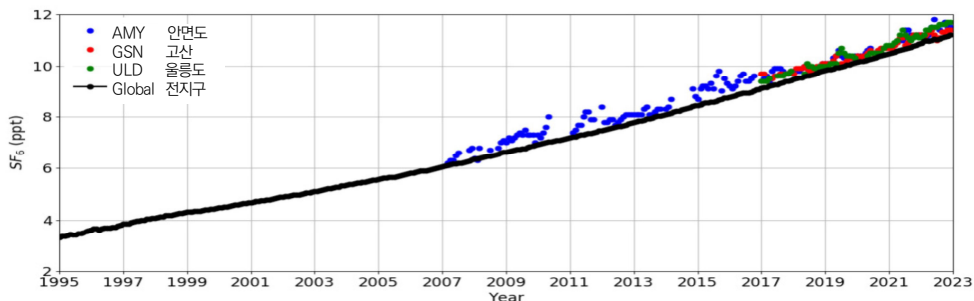
- 대기 중 체류시간이 약 121년 정도 되며, 전체 온실가스의 복사강제력 중 약 7% 차지함. 산업화 이전에 비해 현재 농도가 약 1.2배 정도 증가함



[그림 I-11] 우리나라 및 전지구 연도별 아산화질소(N_2O) 배경농도

- 육불화황(SF_6)

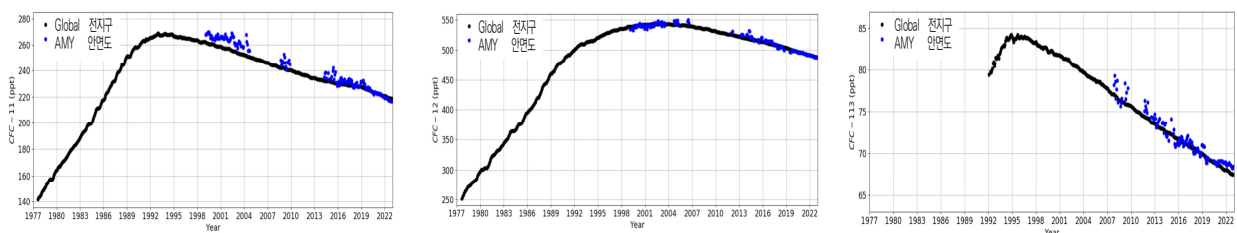
- 대기 중에 굉장히 미량 존재하지만 향후 기후변화에 영향을 줄 수 있는 잠재력이 높은 온실가스로 대류권에서 체류시간이 굉장히 길어(약 1000년) 한번 대기로 배출되면 오랜 기간 지구온난화를 유발하게 됨



[그림 I-12] 우리나라 및 전지구 연도별 육불화황(SF_6) 배경농도

- 염화불화탄소류(CFCs)

- 냉매제로 주로 사용되고 성층권의 오존층을 심각하게 파괴하여 몬트리올 의정서(Montreal Protocol)를 통해 규제하고 있으며 그 결과로 배출량은 줄었지만 대기 농도의 감소는 더디게 나타남



[그림 I-13] 우리나라 및 전지구 연도별 염화불화탄소(CFC-11(좌), CFC-12(가운데), CFC-113(우)) 배경농도

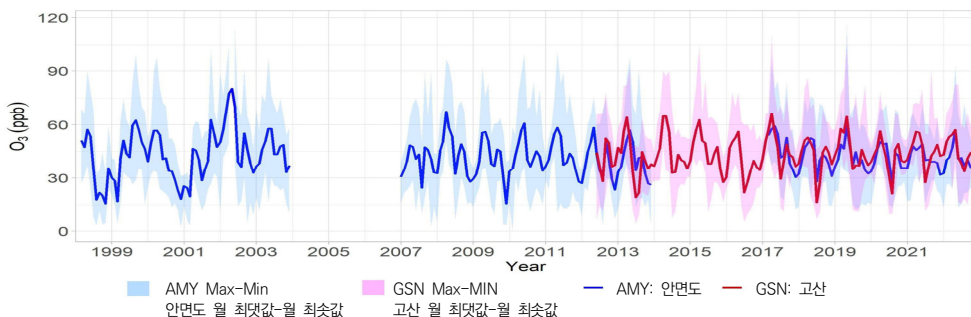
나. 반응가스

- 반응가스는 다른 가스 상태의 물질들과의 결합력이 높아 대기 중에 체류 시간이 짧으며, 지표 오존(O₃), 일산화탄소(CO), 휘발성유기화합물(VOCs), 질소화합물(NO_x, NO_y), 이산화황(SO₂) 등의 미량기체를 뜻함
- 반응가스를 포함한 단수명 기후강제요인(SLCFs)²¹⁾은 인위적 혹은 자연적으로 배출되어 대기 중에 화학반응을 통해 머무르면서 직·간접적으로 기후변화에 영향을 주고, 기후변화는 다시 화학반응 속도 또는 순환 변화에 영향을 미치면서 대기 조성에 영향을 줌
- 국립기상과학원에서는 안면도와 고산 기후변화감시소에서 각각 1998년과 2012년부터 지표 오존(O₃), 일산화탄소(CO), 질소산화물(NO_x), 이산화황(SO₂) 등의 반응가스를 관측하고 있으며, 울릉도에서는 2015년부터 일산화탄소(CO)를 관측하고 있음

① 반응가스 농도 현황 및 장기 추세

• 지표 오존(O₃)

- 대기 중 오존의 대부분은 성층권에 존재하고 대류권에는 10% 미만이 존재하며 대류권에 존재하는 지표 오존(O₃)은 강력한 온실효과를 일으키는 기체 중 하나로 직접 배출원이 없고 대기 중 전구물질²²⁾들의 광화학 반응에 의해 생성되는 대표적인 2차 오염물질²³⁾임. 인위적으로 배출된 질소산화물(NO_x)과 휘발성유기화합물(VOCs)²⁴⁾의 농도가 높고, 기온이 높고, 일사량이 클수록 많이 생성됨
- 지표 오존(O₃)은 강력한 산화제로 반복적으로 노출될 시 호흡기에 영향을 주고 식생의 성장과 광합성을 저해하여 이산화탄소(CO₂)의 흡수를 방해하는 등 유해하며, 화학반응 과정에서 메탄(CH₄)과 반응하는 등 간접적으로도 기후에 영향을 줌
- 광화학 생성이 활발한 봄과 가을에 지표 오존(O₃) 농도가 높고, 여름과 겨울에 낮게 분포하며, 안면도와 고산에서는 장기적으로 눈에 띄는 경향성을 보이지 않음



[그림 I-14] 지표 오존(O₃) 연변화 경향(선은 월평균, 음영은 월 최댓값과 월 최솟값의 차이를 나타냄)

21) Short-Lived Climate Forcers; SLCFs, 대기 중에 비교적 짧은 기간 체류하여 기후변화를 일으키거나 강제하는 요소

22) 어떠한 화합물을 합성하는데 있어 필요한 재료가 되는 물질

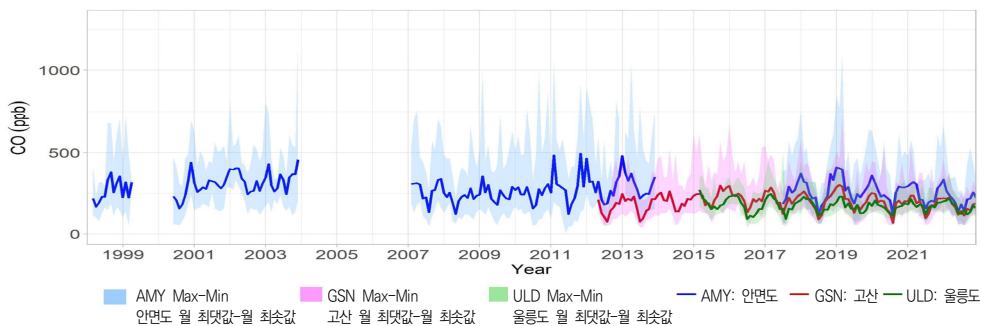
23) 1차 오염물질: 오염 발생원에서 직접적으로 배출된 오염물질

2차 오염물질: 배출된 이후 대기 중에서 다른 화학반응으로 새롭게 생성된 물질

24) Volatile Organic Compounds; VOCs: 대기 중에서 쉽게 증발하는 액체 또는 기체상 유기화합물로 메탄올, 프로판, 아세틸렌, 휘발류 등이 있으며, 다른 물질과의 반응성이 매우 높음

● 일산화탄소(CO)

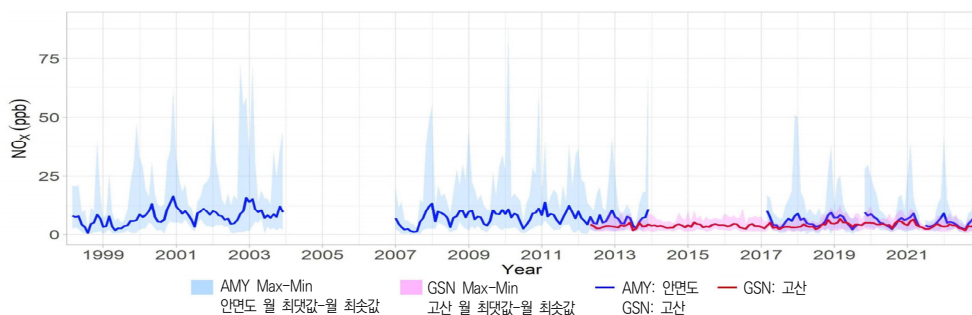
- 대기 중 일산화탄소(CO)는 화학반응을 통해 오존(O₃), 이산화탄소(CO₂) 등의 온실가스 농도를 변화시켜 간접적으로 양의 복사강제력을 나타내며 주로 화석연료의 연소과정에서 직접 배출되거나 메탄(CH₄) 또는 비메탄계 휘발성유기화합물(NMVOCs)의 대기 산화에 의해 발생함
- 일산화탄소(CO)는 인위적인 오염원에서 배출되기 때문에 남반구보다 북반구에 높게 분포하며, 대기에 1~4개월 가량 체류하여 대기 이동 및 탄소 연료 연소의 추적에 이용됨. 또한, 대기의 강력한 산화제인 수산화 라디칼(OH•)과의 반응으로 대기의 산화 능력에 영향을 미침
- 일산화탄소(CO)는 안면도, 고산, 울릉도 순서로 높게 분포하며 장기적으로는 안면도에서 겨울철 농도가 2011년 이후 점차 감소하였고 고산과 울릉도에서도 2019년 이후 미약하게 감소하였음



[그림 I -15] 일산화탄소(CO) 연변화 경향(선은 월평균, 음영은 월 최댓값과 월 최솟값의 차이를 나타냄)

● 질소산화물(NO_x)

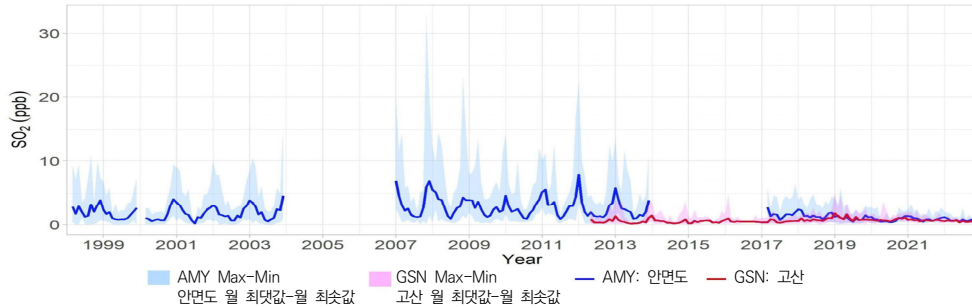
- 질소산화물(NO_x)은 자연적으로 대류권 상층에서 번개에 의해 생성되거나 지상에서 토양, 식물 등의 광화학 활동으로 발생하며, 인위적 배출원은 발전소, 석유계 자동차, 선박, 항공기 등에서 화석 연료를 사용한 고온 연소와 산불, 산림 벌채 등의 저온 연소에서 발생함
- 질소산화물(NO_x)은 지표 오존(O₃)과 에어로졸의 전구물질로 반응성이 높아 대기 체류시간이 짧고 (수시간~수일) 가스 상태는 물론 에어로졸과도 상호작용을 하므로 기후에 미치는 순 영향을 파악하기 어려운 요소임(IPCC, 2021)
- 관측기간 전체에 걸쳐 안면도의 질소산화물(NO_x) 농도는 점차 감소하였으며, 고산은 국지 오염이 적어 큰 폭의 변화가 없음



[그림 I -16] 질소산화물(NO_x) 연변화 경향(선은 월평균, 음영은 월 최댓값과 월 최솟값의 차이를 나타냄)

• 이산화황(SO₂)

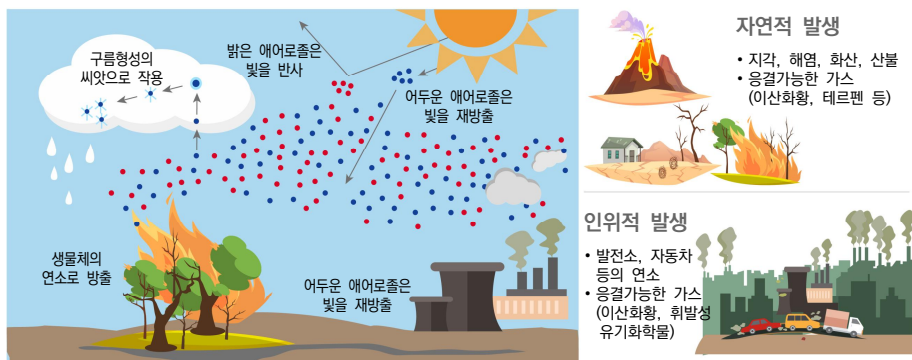
- 이산화황(SO₂)은 산성비를 유발하거나 대기 중 입자를 형성하는데 결정적인 역할을 하는 액체 화합물인 황산(H₂SO₄)의 주요 공급원임. 물(H₂O), 지표 오존(O₃)과 반응하여 황산(H₂SO₄)을 생성하며 황산염 에어로졸을 생성하는 전구물질로 작용하여 간접적으로 기후에 영향을 미침
- 안면도의 이산화황(SO₂) 농도는 2008년에 최대였다가 점차 감소하였으며 이러한 경향은 중국의 대기 정책에 따른 배출량 변화와 일치함. 2019년 이후 안면도 이산화황(SO₂) 농도는 고산과 비슷한 수준으로 감소하였음



[그림 I-17] 이산화황(SO₂) 연변화 경향(선은 월평균, 음영은 월 최댓값과 월 최솟값의 차이를 나타냄)

다. 에어로졸

- 에어로졸(PM10)은 대기 중에 떠 있는 고체 또는 액체 상태의 작은 입자(수 nm~수십 μm)로 연무, 황사, 안개 등의 기상현상과 관련이 있으며, 바람에 의한 비산, 화산폭발, 해염, 산불 등 자연적인 요인과 산업활동, 자동차 등 인간 활동의 결과로 생성됨
- 에어로졸은 호흡기질환, 심질환 발병 등 건강에 영향을 줄 뿐 아니라 대기오염물질과 결합하여 산성비, 스모그, 시정 감소의 원인이 되며, 대기 중에 떠다니며 지표로 들어오는 태양 복사에너지를 흡수 또는 산란시켜 기후변화를 유발시킴
- 에어로졸의 감시 목적은 대기질과 관련하여 에어로졸의 시공간분포 특성을 파악하고 기후강제력²⁵⁾을 추정하는 것이며, 국립기상과학원에서는 세계기상기구 지구대기감시 프로그램(GAW)의 권고에 따라 에어로졸의 물리, 광학, 화학 특성 등을 관측하고 있음

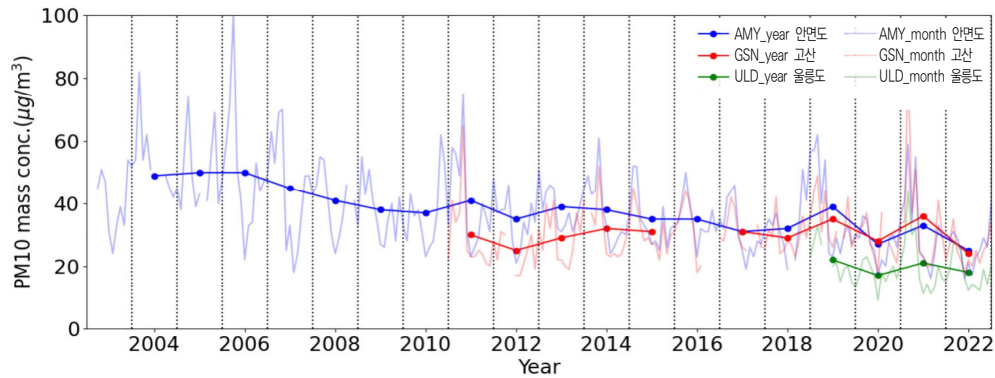


[그림 I-18] 에어로졸 생성(좌)과 발생(우)

25) 기후시스템(대기권, 수권, 빙권, 지권, 생물권)에 영향을 미쳐 기후변화를 야기하는 요인

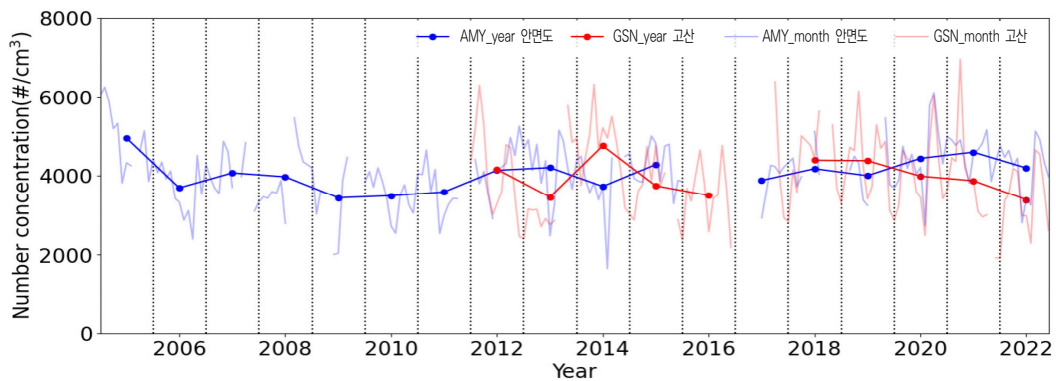
① 에어로졸 농도 현황 및 장기 추세

- 안면도, 고산, 울릉도 기후변화감시소에서는 우리나라 배경대기 에어로졸의 물리특성 감시를 위해 에어로졸(PM10) 질량농도와 수농도(총수농도, 크기분포)를 측정함
- 우리나라의 에어로졸(PM10) 질량농도는 계절적으로 주로 봄철에 높고 여름철에 낮은 분포를 보임. 안면도의 PM10 질량농도는 2004년 관측 이후로 감소추세를 보이고 있으나, 고산의 경우는 2011년 관측 시작 이후로 증감 추세가 뚜렷하지 않음



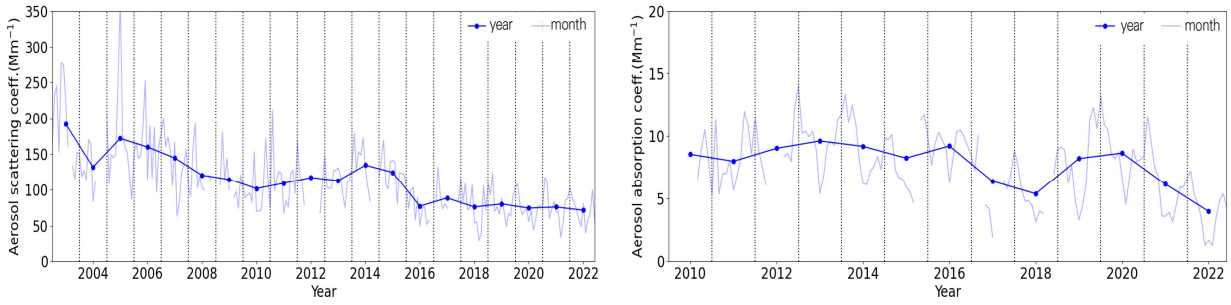
[그림 I-19] 에어로졸(PM10) 질량농도($\mu\text{g}/\text{m}^3$) 연변화 경향

- 에어로졸 수농도와 크기분포는 모든 에어로졸 분석의 가장 기본이 되는 정보이며, 안면도와 고산에서 관측된 총수농도는 장기적으로 뚜렷한 증감 추세를 보이지 않음



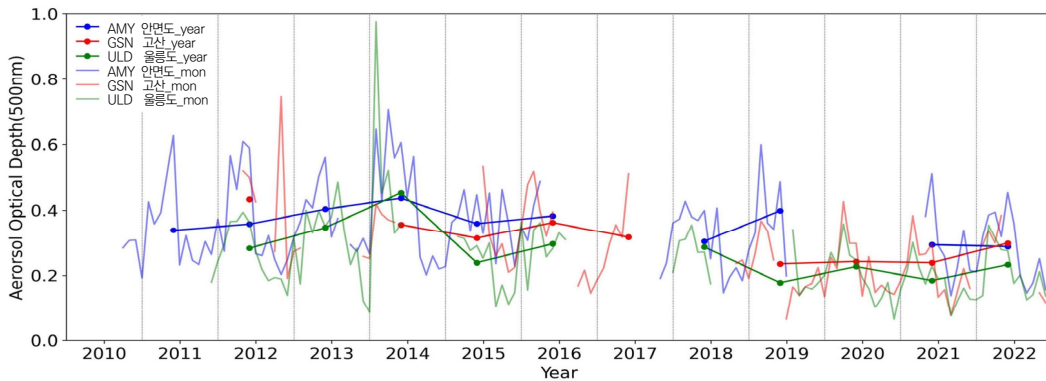
[그림 I-20] 에어로졸(PM10) 총수농도($\#/ \text{cm}^3$) 연변화 경향

- 안면도에서는 에어로졸의 산란·흡수 특성 분석을 위해 에어로졸 광산란계수와 광흡수계수를 관측하고 있으며, 광산란계수는 관측 전체 기간에 대해서는 감소하는 추세를 보이나 광흡수계수는 전체적인 증감 추세가 뚜렷하지 않음



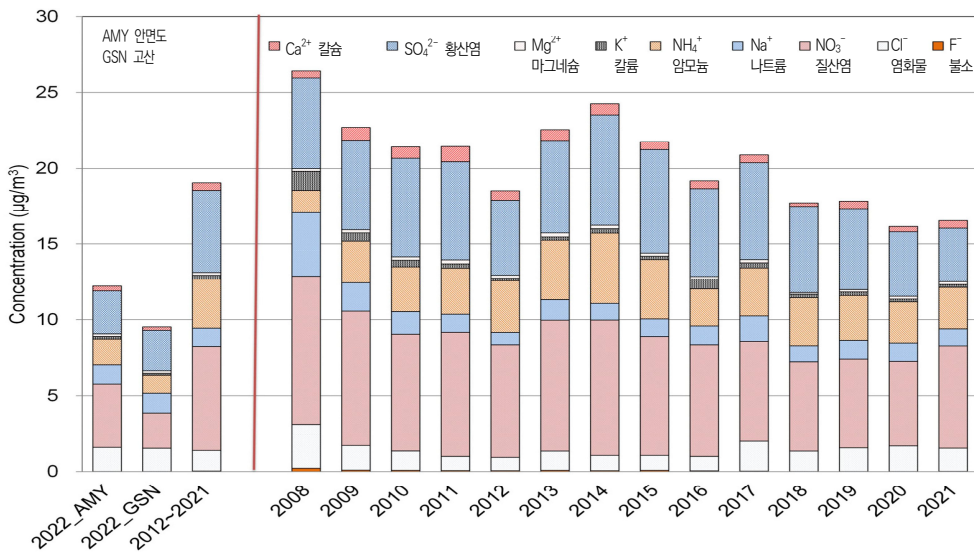
[그림 I-21] 에어로졸(PM10) 광산란계수(좌) 및 광흡수계수 연변화 경향(우)

- 에어로졸 광학깊이(AOD)²⁶⁾는 에어로졸 복사강제력의 평가에 중요하게 활용되는 요소로서 대체로 에어로졸의 양에 비례하며 안면도와 고산, 울릉도 세 감시소 모두 유의미한 장기 추세는 나타나지 않음



[그림 I-22] 에어로졸(PM10) 광학깊이 연변화 경향

- 에어로졸(PM10) 이온 성분은 에어로졸의 기원을 분석하는데 활용됨. 안면도 에어로졸(PM10) 이온 성분의 총합은 장기적으로 감소하고 있으며 특히 질산염(NO_3^-)의 감소가 뚜렷함

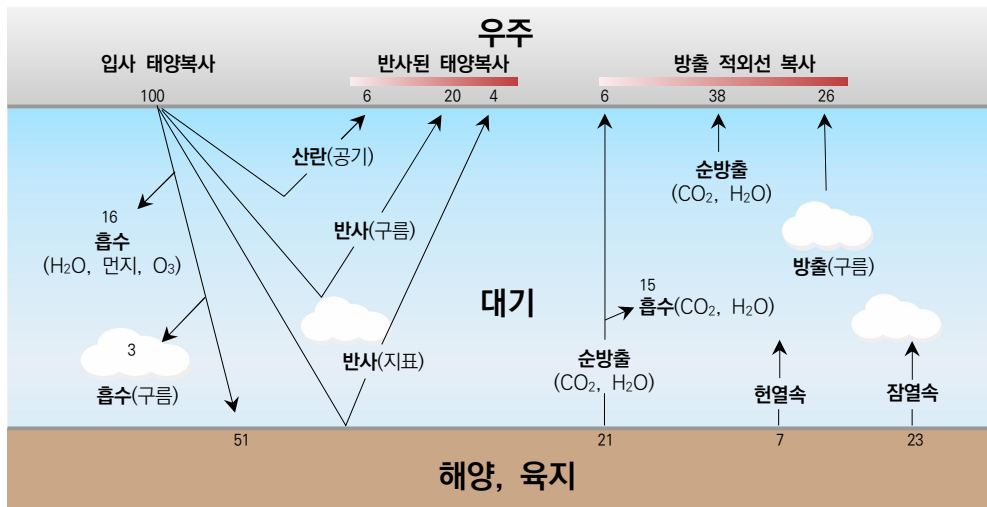


[그림 I-23] 에어로졸(PM10) 수용성 이온성분 농도 연변화 경향

26) Aerosol Optical Depth; AOD, 태양복사가 대기의 상한에서 지표까지 도달하는 동안 대기 중 에어로졸에 의해 감쇄 정도를 나타내는 척도

라. 대기복사

- 대기복사는 태양에서 유입되는 단파 복사에너지와 지구에서 방출되는 장파 복사에너지로 구분됨. 온도가 높은 물체일수록 짧은 파장의 에너지를 많이 방출하기 때문에 고온의 태양은 단파 복사에너지를, 상대적으로 저온인 지구는 장파 복사에너지를 방출함
- 태양 복사에너지는 지구 대기를 통과하면서 구름 또는 대기 구성 성분들에 의해 산란, 반사되거나 흡수되고 나머지 일부가 지표에 도달하며, 지구로 전달된 에너지는 지표면과 대기를 가열시켜 파장이 긴 장파 복사에너지를 방출시킴
- 지구 전체가 방출하는 에너지는 태양으로부터 받은 에너지의 총량과 균형을 이루나, 산업화에 따른 인위적 오염 물질 배출은 지구 대기의 구성 성분에 변화를 일으키게 되고 지구로 도달한 태양에너지를 더 많이 흡수하면서 지표와 대기의 온도를 상승시키는 등 기후변화를 발생시킴
- 국립기상과학원에서는 이러한 기후변화에 대응하기 위한 목적으로 태양복사(직달일사, 산란일사, 태양하향복사, 태양상향복사)와 지구복사(지구상향복사, 지구하향복사), 순복사 총 7개 요소를 관측하고 있음



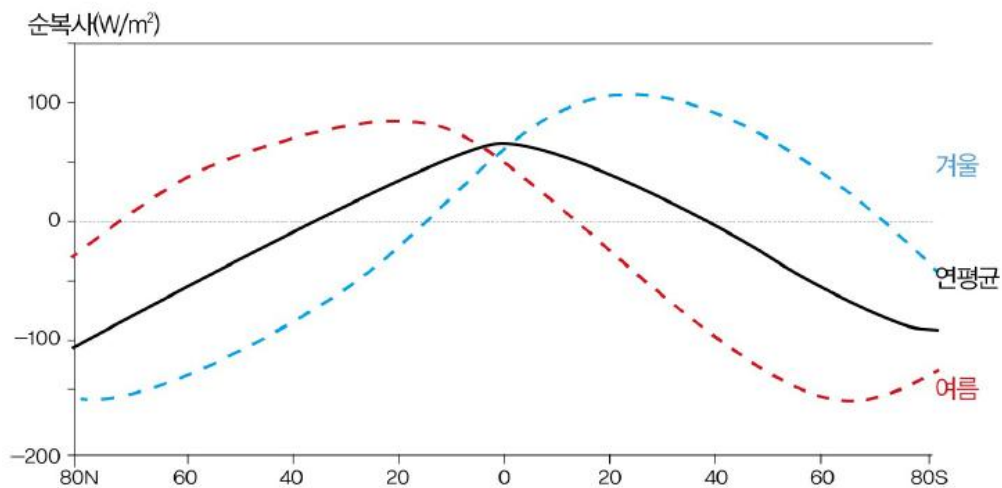
[그림 1-24] 지구-대기권의 에너지 수지²⁷⁾

① 대기복사 관측 현황 및 장기추세

- 대기복사 요소의 관측값은 대체로 태양천정각이 낮은 여름철에 높고 태양천정각이 높은 겨울철에 낮지만, 일부 요소(직달일사, 태양상향복사, 태양하향복사 등)의 경우 구름과 강수가 많은 한여름에 다소 낮게 관측됨
- 직달일사는 대기 중에서 산란 또는 흡수되지 않고 태양으로부터 직접 입사되는 복사량으로 태양추적 장치를 통해 태양을 지향하여 관측함
- 산란일사는 태양복사가 지표면에 도달하기 전에 최소 한번 이상 산란된 복사 차폐판을 이용해 직달 일사를 차단하여 관측함

27) 지구 전체로 볼 때 태양에너지의 70%는 흡수하고 30%는 반사하며 대기 중에서 19%를 흡수하고 지표면에서는 51%를 흡수하여 다시 적외선복사의 형태로 우주공간으로 방출함

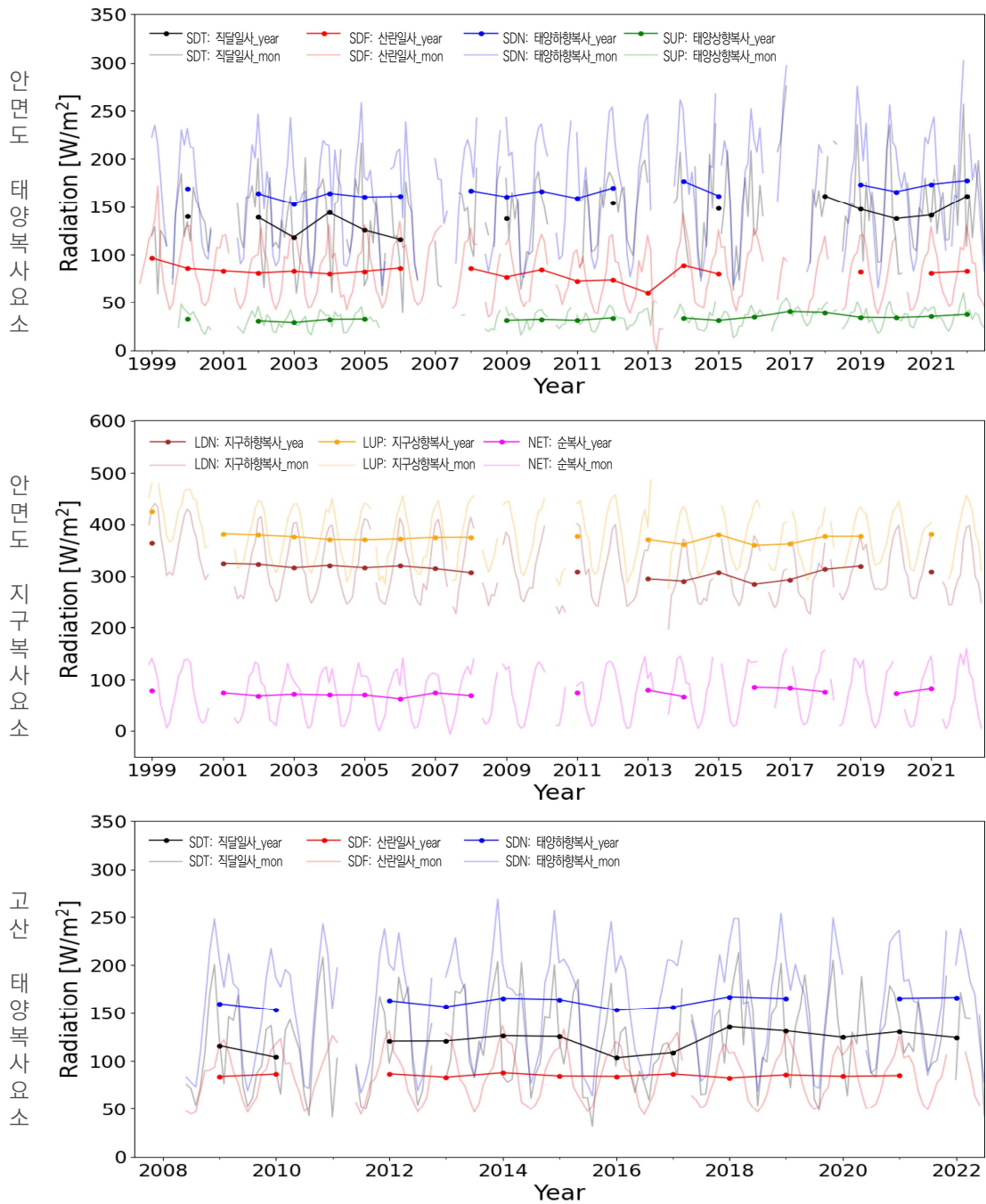
- 태양하향복사(또는 전천일사)는 지표에 도달하는 모든 일사량의 총합으로 수평면으로 유입되는 직달 일사와 산란일사의 합과 같음. 태양상향복사는 태양으로부터 유입된 단파 복사에너지 중 지표에 의해 다시 반사되어 나가는 복사량을 말함
- 지구상향복사와 지구하향복사는 각각 지표에서 대기로, 대기에서 지표로 방출되는 장파 복사에너지를 의미함. 지구상향복사는 지면 온도의 영향을 크게 받는 반면 지구하향복사는 기온과 습도의 연직분포, 운량 등 다양한 기상 특성들에 영향을 받음
- 지구복사는 태양복사에 비해 일변화 폭이 적고 하층운이 지속적으로 있는 경우나 기온 역전현상이 있을 시를 제외하고는 지구상향복사량이 하향복사량보다 큼
- 순복사는 태양과 지구 사이의 복사에너지 수지를 뜻하며 태양복사와 지구복사 사이의 관계식²⁸⁾을 통해 간접적으로도 계산이 가능함. 일반적으로 순복사량은 여름에 높고 겨울에 낮은 특성을 가지며 열대 및 아열대 지역과 적도 부근에서 일별 순복사는 일 년 내내 양의 값을 가지지만, 그 외 지역에서는 양의 값과 음의 값이 계절에 따라 다양하게 나타남. 맑은 날의 일 중 순복사량 변화는 태양 고도각이 증가함에 따라 서서히 증가하여 정오에 최대가 됨



[그림 1-25] 대기 상부에서 북반구 여름과 겨울, 연평균 동서 평균 순복사

28) 순복사 = 태양하향복사 - 태양상향복사 + 지구하향복사 - 지구상향복사

- 안면도와 고산의 대기복사 관측값은 장기적으로 눈에 띄는 경향성을 보이지 않고 있으며, 태양복사는 안면도가 고산보다 조금 더 높은 관측값을 나타냄



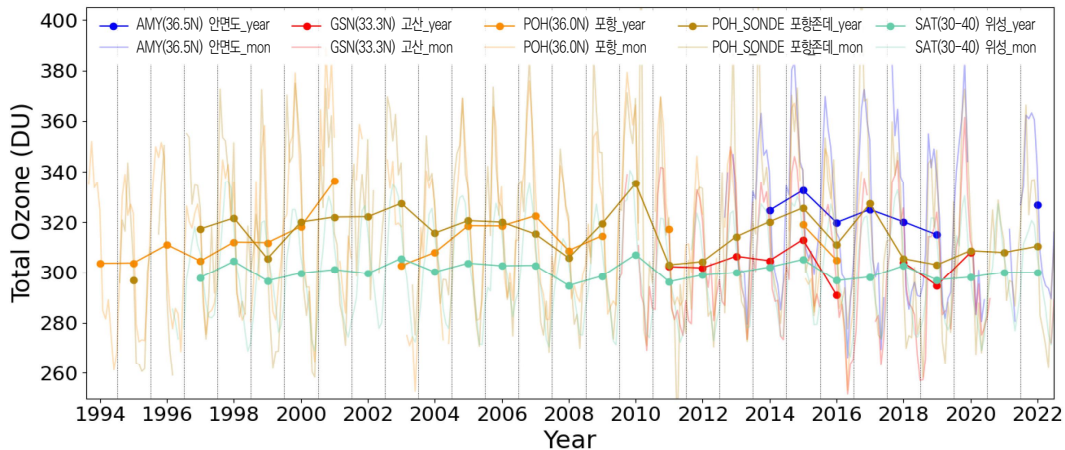
[그림 I-26] 연도별 안면도와 고산 복사량 변화

마. 성층권 오존

- 성층권 오존은 태양으로부터 유입되는 인체에 유해한 자외선을 차단해 생태계를 보호하고, 태양에너지를 흡수하여 지구 대기 복사에너지와의 평형을 유지하며 대기대순환²⁹⁾에 영향을 미침
- 오존은 전체 대기 중 성층권에 90% 가량 존재하여 전 지구적인 오존 변화를 이끌지만 대류권과 상호 영향을 미치기 때문에 연직분포 또한 중요함
- 성층권 오존은 산업화 과정에서 인위적으로 발생하는 오존고갈물질³⁰⁾들로 인해 심각하게 파괴되었으나 1987년 몬트리올 의정서(Montreal Protocol)가 채택되어 현재 점차 회복되는 추세임. 오존이 회복되고 있음에도 불구하고 여전히 남극과 북극에서는 오존홀(Ozone hole)이 나타나고 있으며 이는 대기대순환을 통해 전 지구적으로 영향을 미침
- 지상 관측망 또는 위성을 통해 전 지구 성층권 오존을 관측하고 있으며, 지속적인 성층권 오존 농도 감시는 오존 파괴로 인한 유해 자외선의 위협에 대응하기 위한 기후변화 관측의 필수 요소임
- 국립기상과학원에서는 성층권 오존의 감시를 위해 안면도(2013년~)와 고산(2009년~) 기후변화감시소(포항: 1994~2017년)에서 오존전량, 포항에서는 오존의 연직분포(1994년~)를 관측하고 있음

① 성층권 오존 현황 및 장기추세

- 성층권 오존은 태양 자외선이 강한 열대지방에서 가장 많이 생성되지만 전 지구적 오존 순환을 통해 극지방으로 서서히 수송되어 오존층의 두께는 중위도와 고위도에서 두껍고 저위도에서는 상대적으로 얇음
- 포항과 안면도, 고산 모두 위성에서 관측된 중위도(북위 30~40°) 평균값보다 대체로 높은 관측값을 보임

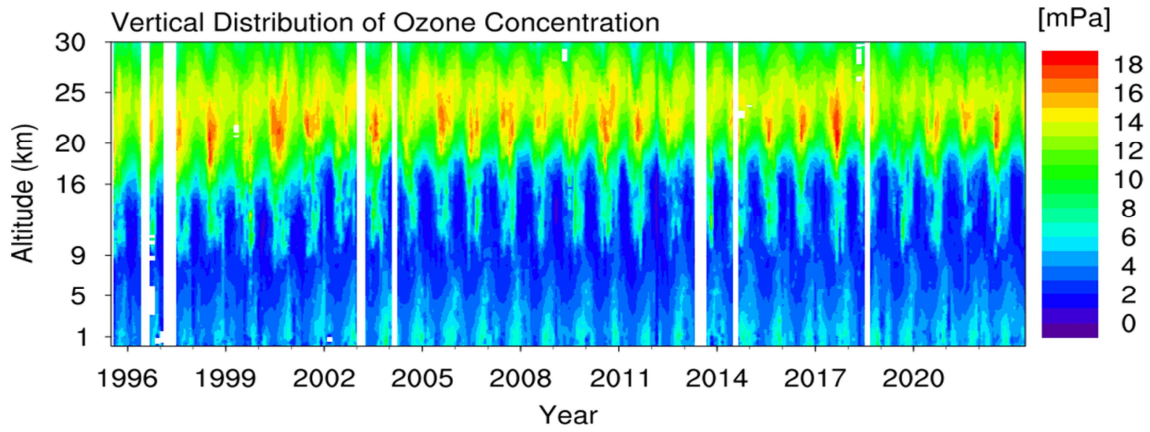


[그림 1-27] 포항(오존분광광도계와 오존존데), 안면도, 고산과 위성에서 관측된 북위 30~40° 지역의 연평균 오존 시계열

- 최근 성층권 오존 관측값의 변화 추세는 기후변화와 맞물려 더욱 복잡한 양상을 보이며, 특히 성층권 하부의 불확실성이 매우 큼
- 포항에서 1995년부터 오존존데로 관측된 연직 오존 분포를 살펴보면 주로 봄철 16~25km 고도에서 최대농도가 나타나며 비슷한 기간에 9~16km 고도에서도 오존이 높은 농도로 분포함. 연직 오존의 장기적인 변화를 보면 동아시아 산업화에 따라 대류권 오존 농도 증가가 뚜렷함

29) 지구 표면이 받는 태양 복사에너지의 불균등에 의해 형성된 전 지구적인 대규모 순환시스템

30) 프레온가스라 불리는 염화불화탄소(CFCs)를 포함하여 오존을 파괴시키는 기타 할로겐화 물질들

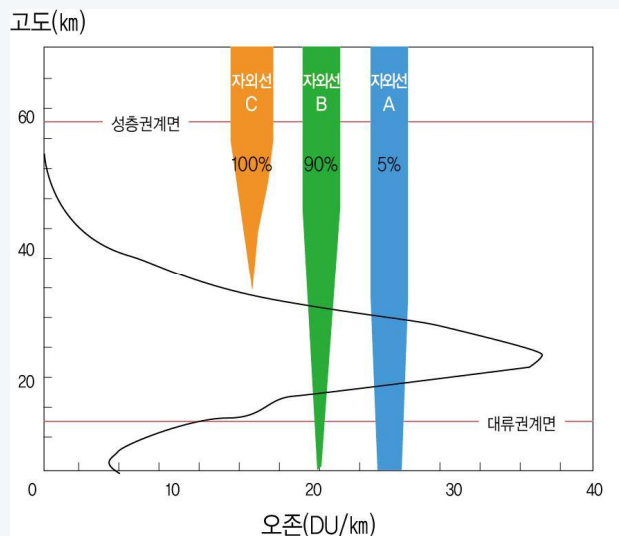


[그림 1-28] 연도별 포항에서 관측된 연직오존 시계열

- 우리나라가 위치하는 중위도의 성층권 오존은 전지구 오존 순환에 의해 봄철에 농도가 높은 계절적 특성을 보이며 종관적인 기상특성의 영향을 크게 받음

바. 자외선

- 자외선은 파장에 따라 자외선A(320~400 nm), 자외선B(280~320 nm), 자외선C(100~280 nm)로 구분되며 자외선C는 대기 상층에서 오존에 의해 모두 흡수되거나 공기분자에 산란되므로 지표에 도달하는 자외선은 자외선 A(90% 이상)와 자외선B(10% 미만)가 대부분을 차지함

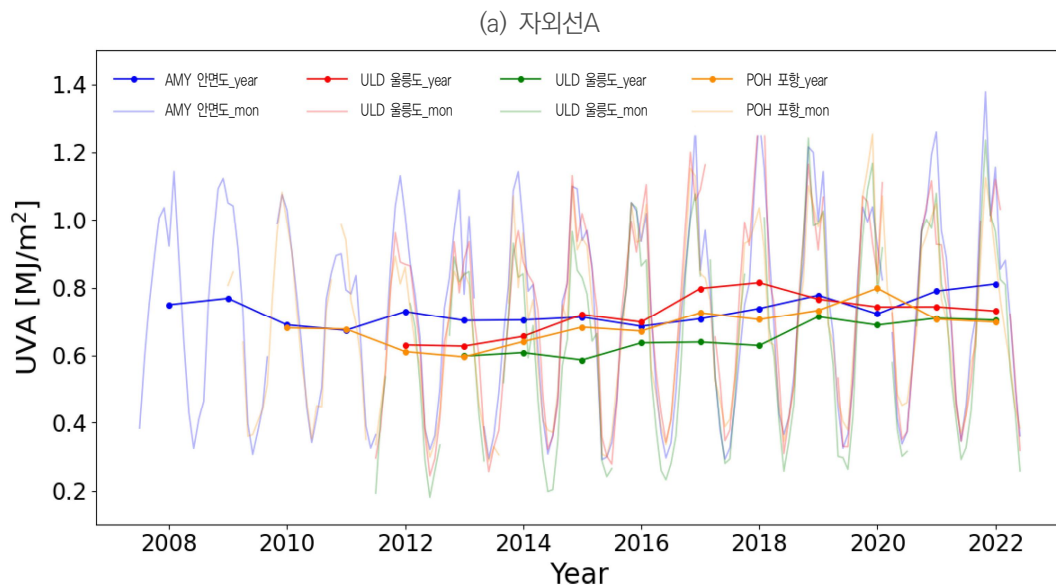


[그림 1-29] 지구대기에서의 자외선 흡수량

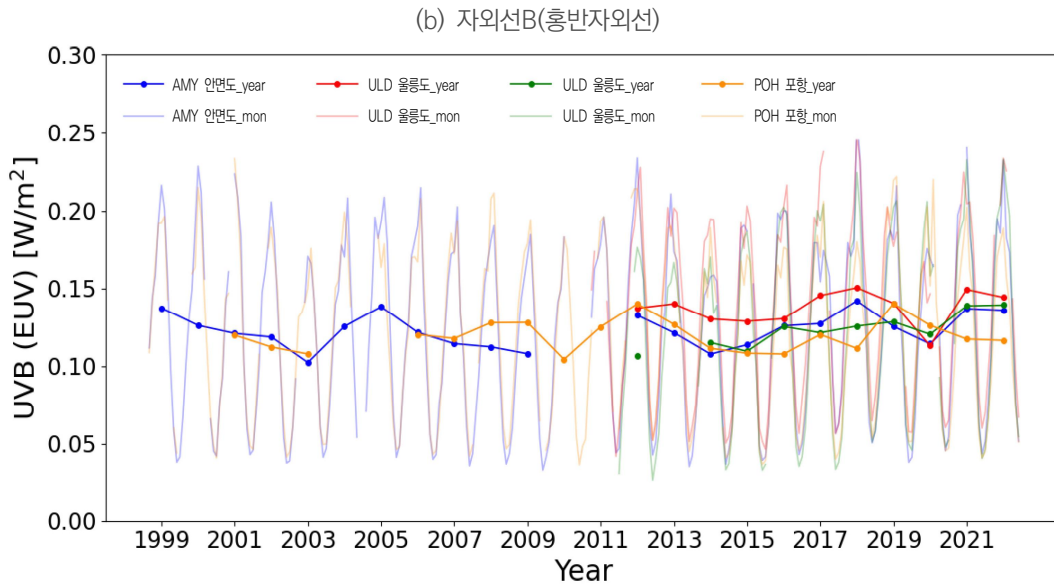
- 자외선은 태양 천정각, 고도, 지구와 태양 간 거리 등의 기하학적 요인과 오존 및 기타 미량가스, 구름, 에어로졸, 지표 알베도 등과 같은 대기 및 지표 구성 성분에 의해서도 큰 영향을 받음. 계절과 지역에 따라 큰 차이를 보이며 그 변화폭이 매우 큼
- 국립기상과학원은 안면도, 고산, 울릉도, 포항 기후변화감시소에서 지표에 도달하는 자외선A와 자외선B(홍반자외선 (EUV)³¹⁾)을 각각 관측하고 있음

① 자외선 현황 및 장기추세

- 자외선A는 인체 피부조직에 가장 깊숙이 침투하여 피부노화나 색소침착과 같은 장기적인 피부 손상을 유발하며 노출 시간이 중요하게 작용하기 때문에 주로 일 누적값으로 분석함
- 자외선B는 피부암, 면역력 감퇴, 백내장, DNA 손상 등을 일으킬 뿐만 아니라 가축, 물고기, 농작물의 생육에도 피해를 입히나 인체의 비타민D 합성에 도움을 주는 긍정적인 효과도 있어 개인 건강과 날씨에 따라 적절하게 노출량을 조절하는 것이 중요함
- 자외선B는 흉반에 대한 가중함수가 적용된 흉반자외선으로 분석하며 최소 흉반점 조사(MED)³²⁾ 단위를 사용하며 자외선이 강할수록 인체에 미치는 영향이 크기 때문에 일 최댓값으로 분석함
- 자외선B는 자외선A에 비해 상대적으로 대기 중 오존의 영향을 크게 받으며 지표에 도달하는 양이 적어 관측 불확실성이 크게 작용하는 특성을 가짐
- 대체로 태양천정각이 가장 낮은 저위도에 위치한 고산에서 자외선A와 자외선B 모두 전체적으로 높은 관측값을 보이지만, 자외선은 구름 및 대기 구성성분의 영향을 크게 받음
- 자외선A는 2013년 이래로 다소 증가하는 특성을 보였지만 증가세가 뚜렷하진 않음



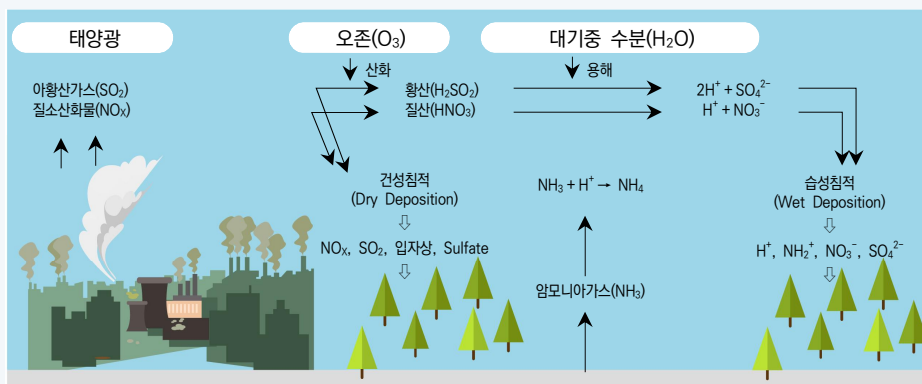
31) Erythemal Ultraviolet; EUV, 자외선에 노출되었을 때 피부 흉반을 강하게 발생시키는 파장 영역(주로 자외선B 영역)에 대한 가중치가 적용된 자외선 복사
 32) Minimum Erythema Dose; MED, 1MED는 210J/m²의 복사량으로 환산 가능함



[그림 I-30] 자외선 월별/연별 관측값의 변화

사. 총대기침적

- 총대기침적은 대기 중 가스, 입자상의 물질이 비, 눈, 안개 등에 의해 낙하 또는 중력에 의해 침착하여 떨어진 시료를 채취하여 대기 중 화학성분을 분석하는 것을 말함
- 오염물질이 강수(눈, 비, 우박 등)에 의해 지면에 도달하는 습성침적과 중력에 의해 지면에 떨어지는 건성침적으로 구분되며, 습성과 건성침적의 조성을 파악하여 산성화, 부영양화, 스모그, 기후변화 등의 원인과 영향을 이해하는데 중요한 요소임
- 강수에는 수용성 이온들이 포함되어 내리며 이들 중 황산염(SO_4^{2-}), 질산염(NO_3^-) 등은 산성비를 만드는 주요 요소임. 강수 시료의 산성도, 전기전도도, 이온성분 등을 분석해 강수의 산성도를 결정하며 생태계 산성침적 피해 및 원인 등을 분석함

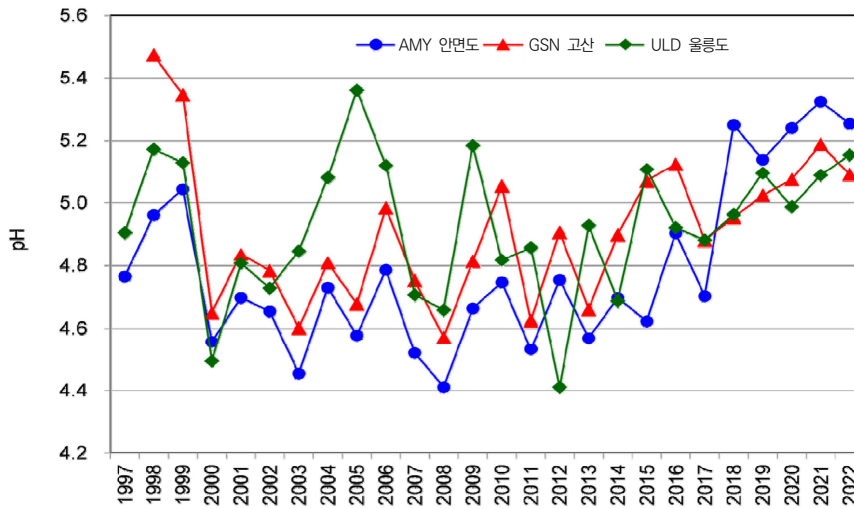


[그림 I-31] 산성화 생성 과정

- 국립기상과학원은 1997년부터 우리나라 청정지역인 안면도와 울릉도, 1998년부터는 고산 기후변화감시소에서 총대기침적을 관측하고 있으며, 관측망을 운영 중이며 안면도에서는 습성침적(강수)과 건성침적, 고산과 울릉도에서는 습성침적을 관측하고 있음

① 총대기침적 현황 및 장기추세

- 일반적으로 비는 pH 5.6의 산성도를 가지나 산성물질(황산염(SO₄²⁻), 질산염(NO₃⁻))이 구름에 흡수되거나 빗방울 또는 눈에 흡착되면 pH 2~4의 강한 산성비로 내림. pH가 6.0 이상의 강수 시료는 알칼리물질(암모늄(NH₄⁺), 칼슘(Ca²⁺))의 영향으로 볼 수 있으며 황사의 영향이 있을 시에는 pH가 알칼리성을 나타냄
- 안면도, 고산, 울릉도 강수의 부피가중평균³³⁾ 산성도(pH)는 최근 전 지역에서 5.0을 초과하며 다소 높은 모습을 보임. 즉, 알칼리물질(암모늄(NH₄⁺), 칼슘(Ca²⁺)) 성분의 영향이 증가됨을 의미함



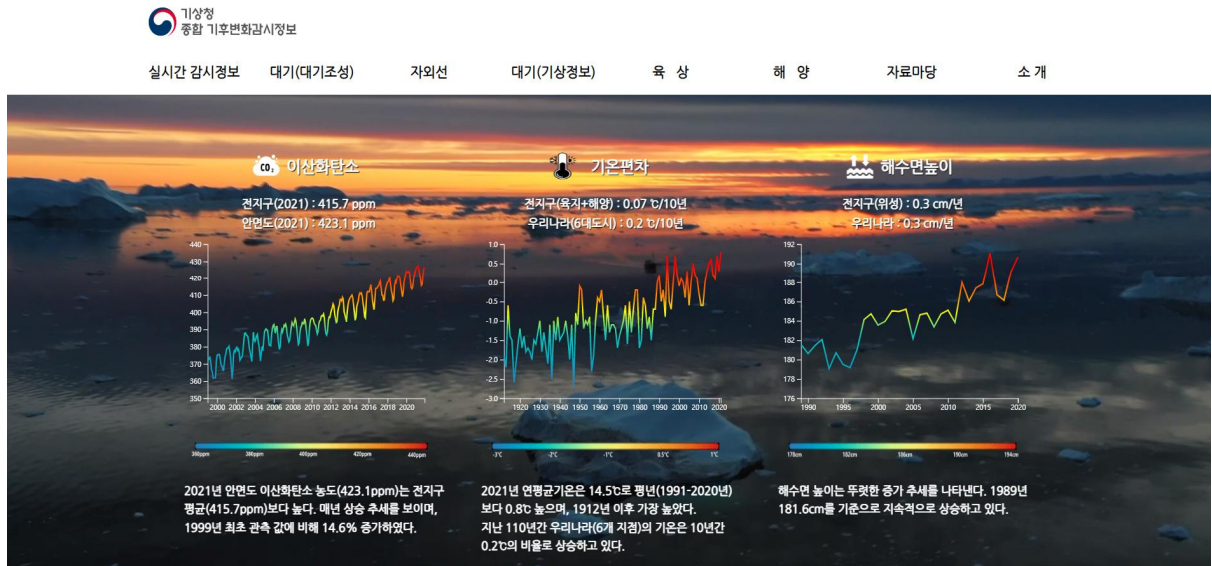
[그림 1-32] 연도별 부피가중평균 산성도(pH) 변화

33) 오염물질이 강수(눈, 비, 우박 등)에 의해 지면에 도달하는 습성침적의 농도는 강수량에 영향을 받기 때문에 강수량이 가중된 평균을 산출하는 방법

4 분석자료 제공 및 활용

① 기후정보포털 - 종합 기후변화감시정보(https://climate.go.kr/home/09_monitoring/)

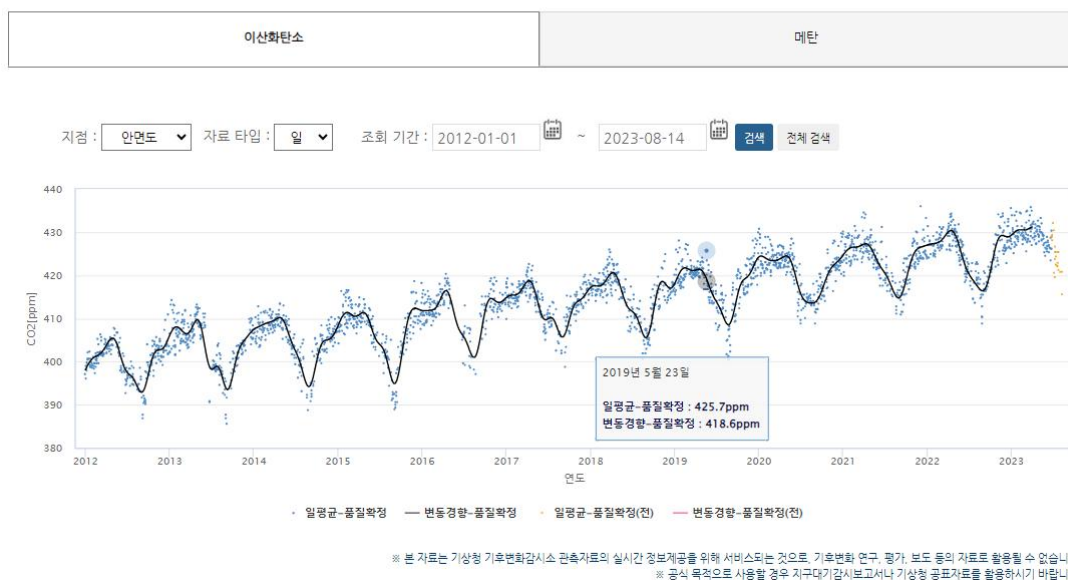
기후변화의 종합적인 감시를 위해 기후를 특징짓는 주요변수의 장기경향, 계절 변동특성, 영향 등을 제공하며, 기후변화 원인물질 4개 분야(온실가스, 반응가스, 에어로졸, 자외선)의 관측자료를 실시간으로 표출하고 있다.



[그림 I-33] 종합 기후변화감시정보 웹페이지

실시간 자료 - 이산화탄소

실시간 자료 > 실시간 자료 > 이산화탄소



[그림 I-34] 실시간 이산화탄소 관측자료 웹페이지 표출

② 국가통계포털(<https://kosis.kr/index/index.do>)

안면도, 고산, 울릉도, 포항 기후변화감시소에서 관측하는 49개의 관측값은 매년 통계청의 국가승인통계를 취득하여 국가통계포털을 통해 정부의 정책수립·평가, 다른 통계의 작성 등에 활용되고 있다.

온실가스유형별	2021.07	2021.08	2021.09	2021.10	2021.11	2021.12
이산화탄소 (ppm)	419.0	415.6	416.3	421.9	425.7	426.7
메탄 (ppb)	1,963	1,978	2,013	2,013	2,021	2,034
아산화질소 (ppb)	336.9	336.1	335.9	336.3	337.2	337.3
연화불화탄소11 (ppt)	222.1	221.4	221.0	220.5	220.1	219.8
연화불화탄소12 (ppt)	493.6	492.5	491.6	491.5	491.8	491.8
연화불화탄소113 (ppt)	69.1	69.0	68.9	68.9	69.0	69.0
육불화황 (ppt)	11.4	11.4	11.2	-	-	11.2

[그림 I-35] 국가통계포털 기후변화감시통계 웹페이지

③ 세계자료센터³⁴⁾

기후변화감시소를 통해 관측되는 기후변화 원인물질들은 각 요소별로 매년 세계기상기구(WMO) 세계자료 센터에 보고되어 지구환경변화에 대처하기 위한 여러 정책 수립과 국제협약 등을 지원하며 기후변화에 관한 이해를 향상시키는데 기여하고 있다.



[그림 I-36] 세계자료센터 웹페이지

34) ① 온실가스: 일본기상청(WDCGG, <https://gaw.kishou.go.jp/>)
 ② 반응가스/에어로졸: 노르웨이 대기연구소(WDCRG/WDCA, <http://ebas.nilu.no>)
 ③ 대기복사: 러시아수문기상청(WRDC, <http://wrdc.mgo.rssi.ru>)
 ④ 성층권 오존/자외선: 캐나다환경부(WOUDC, <https://woudc.org/>)
 ⑤ 총대기침적: 미국국립해양대기청(WDCPC, <https://woudc.org/>)

④ 관련 보고서

지구대기감시 보고서

국립기상과학원에서는 2001년부터 매년 기후변화감시망(4개 감시소, 7개 위탁관측소)에서 관측한 지구대기감시 분석결과를 보고서로 발간하고 있다. 우리나라 기후변화 원인물질의 변화를 분석하여 기후변화에 대한 이해도를 높이고 기후위기 대응 정책 및 기후 관련 연구 등에 활용을 목적으로 한다.

- 제공내용: 우리나라 지구대기감시 업무 현황, 기후변화감시소 특성, 관측 요소의 연도별 관측값 및 통계자료, 장기추세 등
- 제공시기: 연 1회(다음해 6월)
- 제공방법: 기후정보포털(<http://climate.go.kr>) > 열린마당 > 발간물 > 지구대기감시보고서
국립기상과학원 누리집(<http://nims.go.kr>) > 기상기후연구 > 연구성과 > 간행물



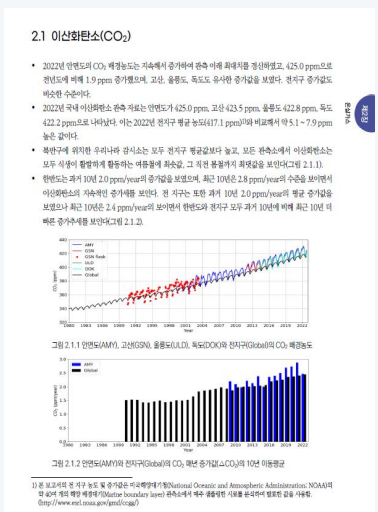
요약

- ▶ 온실가스 배경농도
 - 이산화탄소(CO₂) 배경농도 지속적으로 증가, 관측 이래 최고치 달성
 - 연평균 425.0 ppm, 고산 423.9 ppm, 울릉도 422.9 ppm으로 2021년 대비 약 2.0 ppm 증가
 - 평면(NA, 이산화질소(N₂O), 육불화황(SF₆))의 배경농도 증가 추세 지속
 - 연도별로 기상사에서 관측하지 않는 형질화합소(비(CF₄)) 배경농도 지속 감소
 - ▶ 비열가스, 비열물질
 - 연도별에서 관측한 측정요소자료인, 암산성산소, 질소산화물, 이산화황, PM10 모두 지속 감소
 - ▶ 상층권오존/기압전
 - 연도별에서 오존전량은 동아시아 적도지역 50~60기압권에서 높은 관측치를 나타내
 - 연속 7년 평균 기압전은 크게 하락 하는 경향은 유지됨
 - ▶ 대기행사
 - 연도별에서 전 속성요소(대형/상행/사, 대형 상 행행사, 지구 상 행행사, 순역사 증가 최근 10년 평균 2.1~5.7% 증가)
 - ▶ 용역기행사
 - 연도, 고산, 울릉도 pH가 5 이상으로 소폭 증가
 - 양성행사는 최근 10년 평균보다 연평균, 울릉도 약 10% 이상 감소, 고산 10% 이상 증가

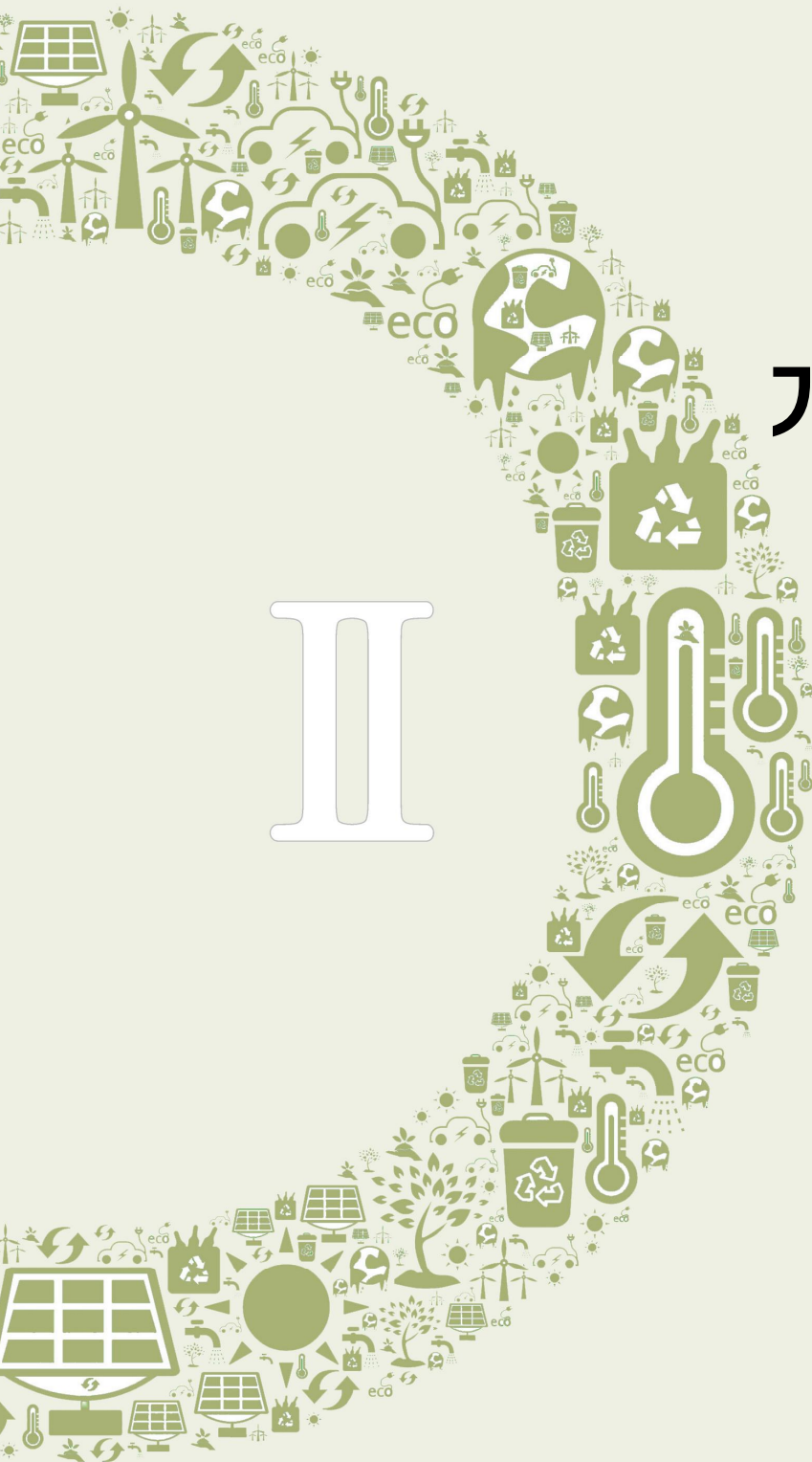
요약표 1. 2022년 지구대기감시소(온실가스 배경농도) 평균과 최근 증가량 비교

측정요소	연도		2021		2022	
	2022년 평균	2021년 대비(%)	2021년 평균	2021년 대비(%)	2022년 평균	2021년 대비(%)
CO ₂ (ppm)	425.0	+2.8(+1.9)	423.5	+2.4(+1.3)	425.3	+2.4(+1.3)
CH ₄ (ppb)	2501	+11(+6)	1998	+2(+1)(+0)	2504	+11(+6)
N ₂ O(ppb)	339.0	+1.1(+1.0)	327.4	+1.1(+1.3)	336.3	+1.0(+1.0)
SF ₆ (ppb)	11.4	+5.4(+5.3)	11.2	+3.3(+3.3)	11.5	+3.4(+3.4)
CF ₄ (ppb)	217.9	-3.4(-3.3)				
CFC-11(ppb)	489.2	-4.1(-4.1)				
CFC-12(ppb)	88.8	-5.6(-5.4)				

* 자료 출처: 기상청
 * 연도, 고산, 울릉도 2012-2021년 10년 평균(연평균)의, 울릉도는 2017-2021년 5년 평균(연평균)이다
 * NA는 기상청에서 관측하지 않는 형질화합소(비(CF₄))의 평균 농도를 의미
 * 2021년 대비 증가는 2021년 대비 증감률이다



[그림 1-37] 2022년 지구대기감시 보고서



기후·기후변화 분석

II

1. 기후·기후변화 분석 개요
2. 전지구 이상기후 및 기후변화 현황
3. 우리나라 이상기후 및 기후변화 현황
4. 해양 기후·기후변화 분석
5. 분석자료 제공 및 활용

1 기후·기후변화 분석 개요

폭염과 폭우, 한파 등 이상기후가 빈번히 나타나는 기후위기 시대에 맞춰 전 세계 및 우리나라 기후변화에 대한 과학적 이해를 돕고, 이상기후로 인한 사회·경제적 영향과 분야별 대응을 강화하기 위해 기후 및 이상기후에 대한 감시·분석 정보를 생산하고 있다. 우리나라 기온, 강수량 등 기후요소의 변동성은 독립적으로 일어나는 것이 아니라 전지구 기후시스템¹⁾의 영향을 받기 때문에 전 지구적으로 나타나는 주요 현상과 여러 기후감시요소 등을 함께 분석하고 있으며 이러한 분석을 기후 이슈에 대한 이해도를 높이고 기후특성에 대한 자료를 축적하고자 한다.

또한, 우리나라 과거 기후변화를 이해하기 위해 근대 기상관측을 시작한 1904년부터의 자료를 활용하여 100년 이상 장기간의 기후변화 추세를 분석하였다. 우리나라 연평균기온은 지난 109년간(1912~2020년) 10년당 0.2℃ 비율로 꾸준히 상승하고 있으며 계절적으로는 겨울과 봄의 기온 상승 경향이 뚜렷하게 나타난다. 연 강수량도 증가하고 있으나 강수일수는 감소하여 강한 강수는 증가하고 약한 강수는 감소하는 추세를 나타낸다.

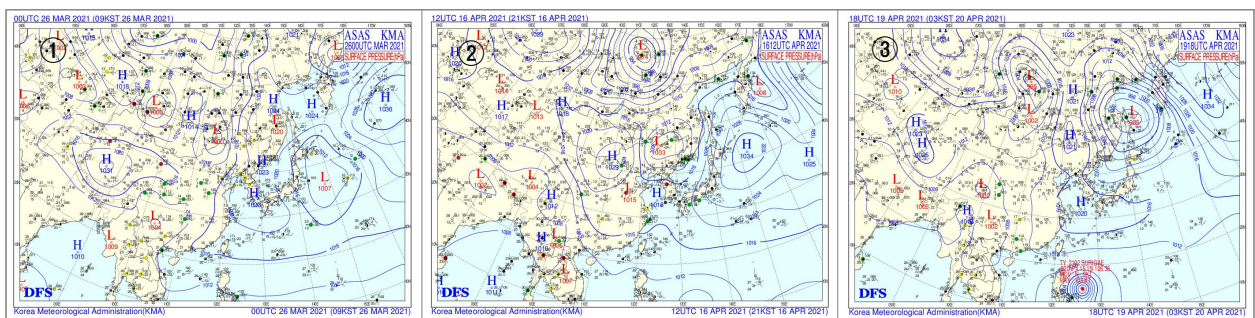
기후변화로 인한 역대급 폭우, 최장기간의 장마·가뭄 등으로 사회·경제적 피해가 증가하고 있으며, 봄 시작일이 빨라지고 여름이 길어지는 등 생태계뿐만 아니라 일상생활에도 많은 영향을 미치고 있다. 장기간의 기후변화 추세 분석은 기후위기 심각성을 체감하고 인식전환을 위한 교육·홍보 및 기후위기 대응정책 수립을 위한 기초 자료로 활용될 수 있다.

가. 계절별 기압계에 따른 우리나라 기후 특성

우리나라는 아시아 대륙과 태평양에 인접하고 있어 해양성 기후와 대륙성 기후의 영향을 모두 받아 날씨의 변화가 크고, 인접한 기단의 세력에 따라 다양한 기상현상이 나타날 수 있다. 우리나라는 중위도에 위치하여 봄, 여름, 가을, 겨울로 4계절이 뚜렷하게 나타나며, 각 계절별로 기후 특성이 뚜렷하다. 봄과 가을은 대륙성 열대기단의 영향으로 맑고 건조한 날씨가 나타나고, 여름은 해양성 열대기단의 영향으로 고온다습한 날씨가 나타나며, 겨울에는 대륙성 한대기단의 영향으로 한랭건조한 날씨가 나타난다.

① 봄철 기압계

봄철에는 시베리아고기압의 세력이 약화되면서 이동성 고기압의 영향을 주로 받는다.



[그림 II-1] 전형적인 봄철 기압계(사례 ① 2021.3.26. ② 2021.4.16. ③ 2021.4.20.)

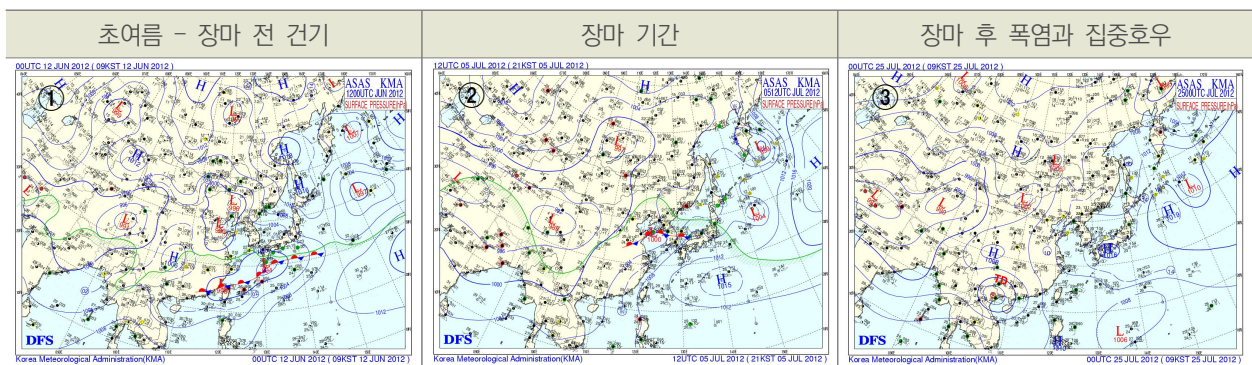
1) 기상이나 기후를 결정하는 광역적인 지구시스템으로 대기권, 수권, 빙권, 생물권, 지권의 5개 요소로 구성됨

그림①처럼 이동성 고기압의 영향을 주로 받는 시기가 있고 그림②에서 ③으로 넘어가면서 전반에 저기압 통과 후 일시적인 대륙고기압(시베리아고기압) 영향으로 1~2일 정도 추위가 나타났다가, 대륙고기압이 빠르게 변질되면서 이동성 고기압 영향을 다시 받기도 한다.

봄철에는 이러한 이동성 고기압의 영향을 주로 받아 맑고 건조한 날씨가 자주 나타나며 밤에는 복사냉각²⁾에 의해 기온이 내려가고 낮에는 일사에 의해 기온이 오르면서 큰 일교차가 나타나며, 북쪽을 지나는 저기압에 의한 강수량은 적은 반면 남서쪽에서 북동진하여 우리나라를 지나는 저기압에 의한 강수량은 매우 많다. 또한 3월과 4월에 대륙고기압이 북쪽으로 지나면서 일시적으로 북고남저 형태의 기압배치가 이루어지면서 영동지방에 많은 눈이 내릴 때도 있다.

② 여름철 기압계

여름철에는 장마, 태풍과 대기불안정 등에 의해 비가 내리는 날이 많기도 하지만 많은 비가 한꺼번에 내리면서 큰 피해가 나타나는 기간이므로 여름철에 대한 특성 파악이 매우 중요하다.



[그림 II-2] 전형적인 여름철 기압계(사례 ① 2012.6.14. ② 2012.7.5. ③ 2012.7.25.)

그림①은 초여름 시기의 기압계로 양쯔강기단에서 유래한 이동성 고기압과 오호츠크해고기압의 영향을 받는 시기이다. 이러한 이동성 고기압의 영향을 받는 경우 상대적으로 건조한 상태에서 낮 기온이 30℃ 이상 올라가도 밤 기온이 낮아져 일교차가 큰 시기가 유지된다. 오호츠크해고기압의 영향을 받는 경우에는 동해안지방을 중심으로 선선한 날씨가 유지되는 반면 서쪽지방은 핀 현상에 의해 기온이 큰 폭으로 상승하기도 한다.

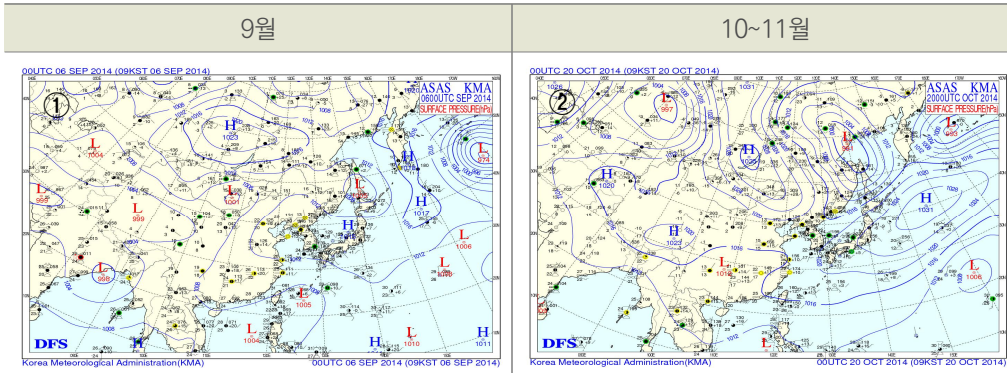
그림②는 장마 기간 기압계로 북태평양고기압이 점차 우리나라 부근으로 확장하면서 그 가장자리에 형성되어 있는 장마철 정체전선이 약 한 달 동안 우리나라에서 남북으로 진동하면서 흐리고 많은 비가 내리는 날씨가 나타난다.

그림③은 장마 후 폭염과 집중호우가 나타나는 시기이다. 우리나라 부근에서 북태평양고기압의 확장 정도는 7월 말~8월 초가 절정 기간이 되고 이후에는 다시 수축하면서 북태평양 가장자리를 따라 2차 우기 형태로 호우가 나타난다. 1990년대 중반 이전에는 장마 종료 후 약 1달 정도 무더위가 지속되는 특성이 있었던 반면, 1997/98년 메이저 엘니뇨 이후에는 장마 종료 후에도 지역에 따라 집중호우 형태로 많은 비가 내리는 특성이 뚜렷해지고 있다. 연 강수 전체로 봤을 때 장마 기간의 one peak 강수 특성이 장마 종료 후 강수 증가로 인해 two peak 강수 형태로 전환되고 있는 경향이 나타난다.

2) 밤에는 태양 복사에너지를 흡수하는 양보다 지구 자체에서 방출하는 양이 많아 기온이 내려가는 현상

③ 가을철 기압계

가을철에는 전반에 북태평양고기압이 약화되면서 이동성 고기압의 영향을 점차 받게 되나 후반에는 이동성 고기압의 영향을 받는 가운데 점차 대륙고기압이 발달하는 시기이다.



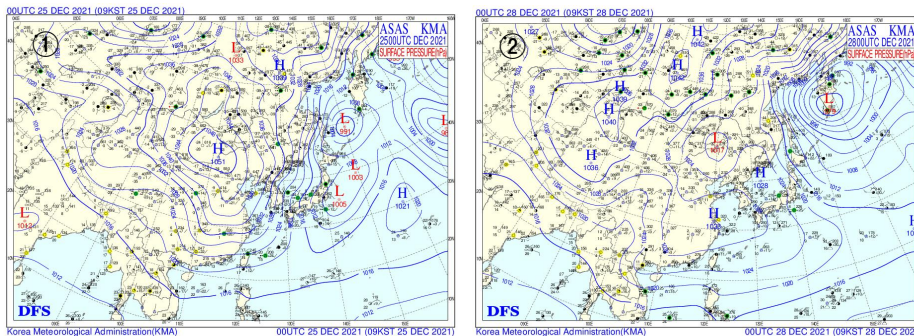
[그림 II-3] 가을철 지상 기압계(사례 ① 2014.9.6. ② 2014.10.20.)

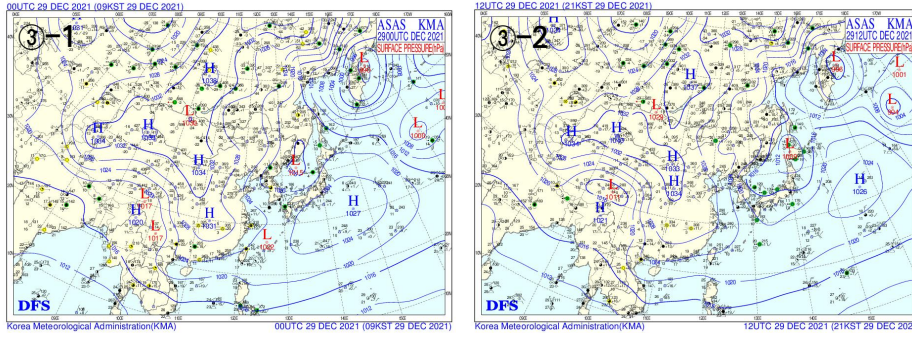
그림①은 주로 9월의 기압계이며 9월 전반까지는 북태평양고기압의 영향권 내에서 여름철 형태의 기압계와 이동성 고기압이 영향을 주는 기압계가 혼재된 경우가 많다. 북태평양고기압이 수축하면서 그 가장자리를 따라 남서류가 유입되는 가운데 상층에서 단파골이 지나는 경우 여전히 지역에 따른 집중호우가 나타날 수 있으며, 9월 후반부터 대부분 전형적인 가을철 기압계로 전환되면서 이동성 고기압의 영향을 주로 받아 맑고 건조한 날씨가 나타난다. 북태평양고기압이 수축하면서 한반도를 포함한 동쪽으로 태풍의 길목에 놓이면서 우리나라는 약 1개 정도의 직접적인 태풍 영향을 받기도 한다.

그림②는 주로 10~11월에 나타나는 기압계로 이동성 고기압의 영향을 주로 받아 맑고 건조한 날씨가 보이는 가운데 일교차가 매우 크게 나타난다. 북쪽을 지나는 저기압의 영향으로 강수가 있는 후에는 일시적으로 대륙 고기압의 영향을 받으면서 기온이 떨어지는 경향이 나타나며, 최근에는 11월 후반에 찬 대륙고기압이 다소 일찍 발달한다.

④ 겨울철 기압계

일반적으로 대륙성(시베리아)고기압의 영향을 주로 받는다.





[그림 II-4] 전형적인 겨울철 기압계(사례 ① 2021.12.25. ② 2021.12.28. ③ 2021.12.29.)

그림①은 시베리아고기압이 확장하는 시기로 서고동저형의 대표적인 겨울철 기압 배치가 나타나며 강한 북서풍 유입과 함께 찬 공기가 남하하여 3일 정도 한파의 영향을 받는다. 찬 공기가 서해상을 지나면서 형성된 눈 구름대가 북서풍을 타고 내륙으로 유입되면서 서해안과 제주도를 중심으로 많은 눈이 내리기도 하며 풍계에 따라 충청도 내륙과 전라도 내륙에도 눈 가능성이 있다.

그림②는 시베리아고기압이 남동쪽으로 이동하면서 대기 하층으로부터 기온 상승에 의해 변질되어 이동성 고기압이 중국 중남부로부터 우리나라 통과하는 시기이다. 중국 중남부에 위치한 고기압 가장자리를 따라 서풍류가 형성될 경우 해상에 위치한 눈 구름대가 서풍을 타고 내륙으로 유입되어 서울을 포함 경기도 지역에 예상치 않은 눈이 내리기도 한다. 우리나라 주변의 등압선 간격이 넓어지면서 그림① 시기에 비해 바람이 약해지고 기온도 상승한다.

그림③은 고기압 후면에서 저기압 통과하는 시기로 우리나라 부근으로 저기압이 지나면서 강수가 내리거나 구름이 많은 날씨가 나타난다. 그림②와 그림③ 시기는 대체로 4일 정도 이어지면서 상대적으로 온난한 날씨를 유지한다. 저기압의 영향에서 벗어나면서 북서쪽으로부터 시베리아고기압이 다시 확장하여 추워지는 기후적인 패턴 반복되면서 3한 4온이 나타나며, 최근에는 3한 4온보다 우랄~바이칼호와 캄차카반도 부근으로 형성되는 저지고기압으로 인해 대기의 흐름이 정체되어 장기간 춥거나 따뜻한 날씨가 이어지는 경우가 많이 발생하고 있다.

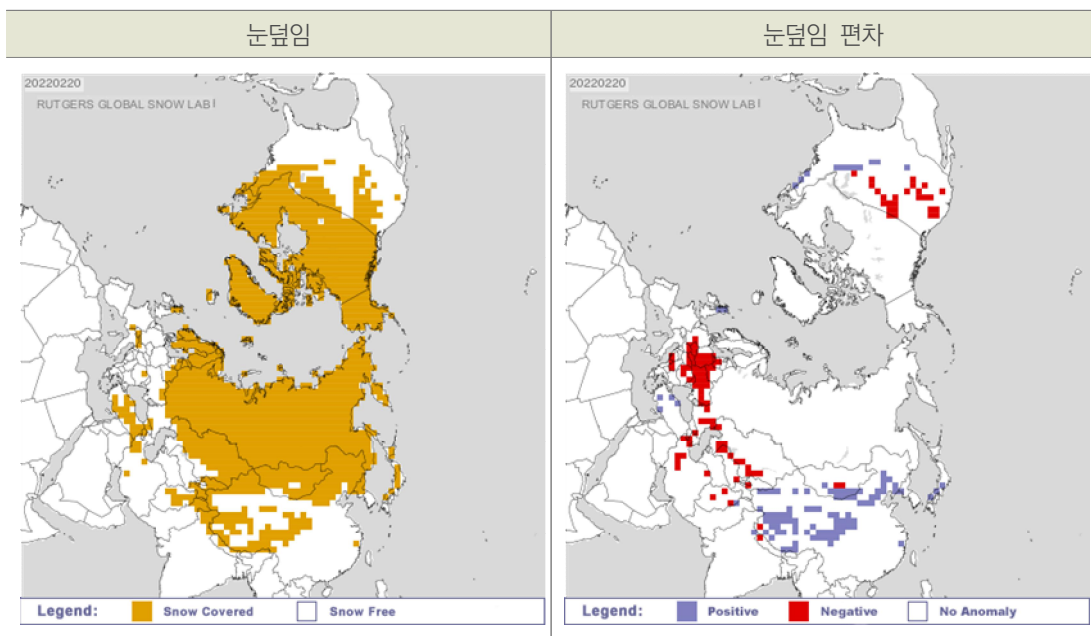
나. 기후감시요소

지구 기후시스템에 큰 영향을 미치는 기후감시요소로는 엘니뇨·라니냐, 북극진동, 제트기류, 계절몬순, 유라시아 대륙 지표상태(눈덮임, 지표면온도, 건조여부 등), 북극해빙, 대륙고기압, 북태평양고기압 등이 있으며, 이러한 요소의 분석을 통해 우리나라 기후와 연계하여 기후분석정보를 생산하고 있다. 특정 지역에 나타나는 기후 현상들이 수천 km 이상 멀리 떨어진 다른 지역의 기상과 서로 관련성을 가지는 기후편차를 원격상관이라고 하며, 이러한 요소는 단기간 우리나라에 직접적인 영향을 주기도 하지만 대기순환에 의해 수주일~3개월 후에 영향을 주기도 하므로 우리나라에 영향을 주는 아래의 요소들을 지속적으로 감시·분석하고 있다.

① 눈덮임

가을에서 겨울로 진행되면서 극 지역으로부터 중·고위도 지역으로 눈덮임이 확장하고 봄에서 여름으로 갈수록 중위도에서 고위도로 가면서 눈덮임이 사라지는 연중 변화를 보인다.

- **(가을~겨울철)** 가을에 유라시아 지역에서 평년보다 빠르게 눈이 덮이면 알베도 효과에 의해 태양에 너지가 흡수되지 못하고 방출 효과가 커져 대륙이 빠르게 냉각되면서 찬 대륙고기압이 발달하여 우리나라에 한파가 발생할 가능성이 높음
- **(봄~여름철)** 봄에 황사 발원지인 몽골, 고비사막, 중국북동지방에 눈덮임이 적으면 황사가 발원할 수 있는 조건이 되므로 이에 대한 감시가 필요함. 봄철 후반에 티벳 고원의 눈덮임이 평년보다 많은 경우 티벳 상층 고기압의 발달이 지연되면서 우리나라 부근에 상층골이 위치할 가능성 증가함

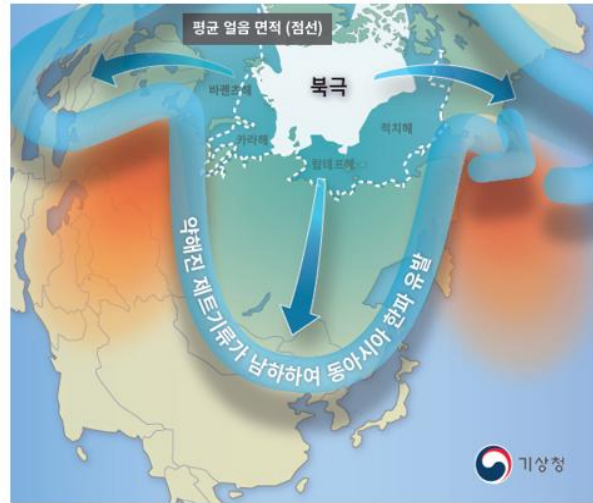


[그림 II-5] 눈덮임과 눈덮임 편차 감시자료 예시(2022년 2월 20일)(출처: Rutgers 대학)

② 북극 해빙면적

북극 해빙은 지면에 도달하는 태양에너지의 계절적인 변화로 인해 겨울철에 증가하여 3월에 연중 최대 면적이 되고 여름철에는 감소하여 9월에 최소 면적이 되는 연 변동을 보인다.

- 가을~겨울철 북극 해빙이 평년보다 적으면 북극 주변의 찬 소용돌이가 약해져 북극의 찬 공기가 중위도 지역으로 남하할 가능성이 증가함
- 카라/바렌츠해 해빙이 적은 경우 우랄산맥 부근의 기온이 상승하여 상층 기압능이나 저지고기압이 발달하게 되며 그 풍하측에 위치한 우리나라 부근에 상층 찬 공기가 지속적으로 유입되어 겨울철 한파를 유도함
- 척치해 해빙이 적은 경우 베링해 부근 기압능이나 저지고기압이 발달하면서 북미 중동부에 한파를 유도함



[그림 II-6] 북극 해빙면적(*22.10.), 분홍색 선: 10월 북극 해빙 평년(1981~2010년) 면적(좌)
 (출처: 미국 설빙국립센터), 바렌츠-카라해의 해빙면적이 적은 경우, 동아시아 지역 한파 영향 모식도(우)

③ 엘니뇨·라니냐(El Niño·La Niña)

전지구 및 열대 태평양의 해수면 온도 평년편차는 해수면 온도에 따른 대기 반응으로 중위도 지역 대기 순환에 영향을 미친다. 특히, 열대 태평양의 대기 하층 바람과 해저 수온 평년편차를 통해 엘니뇨와 라니냐의 발달 상황을 감시할 수 있다. 하층 바람이 평년보다 서(동)풍이 강하면 무역풍이 약(강)해지고 동태평양을 중심으로 해저 수온이 평년보다 높(낮)아져 엘니뇨(라니냐) 발달을 지원한다.

- 엘니뇨(라니냐)의 정의: 열대 중태평양에서 남미 해안에 이르는 지역에 해수면 온도가 평년보다 0.5°C 높(0.5°C 낮)은 상태로 수개월 이상 지속되는 현상
- 적도 무역풍의 약화 및 동쪽으로 이동하는 해양파에 의한 에너지 전달 등으로 인해 발생하는 것으로 추정됨

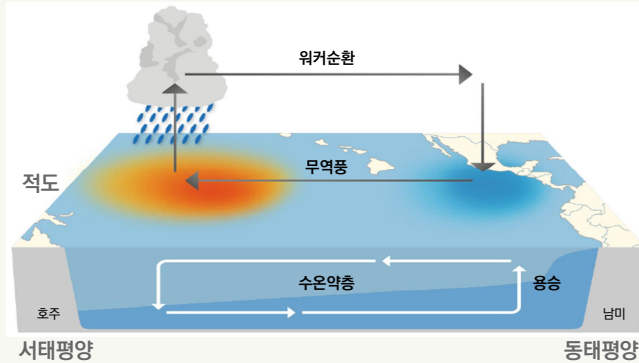
기상청 엘니뇨(라니냐) 기준

엘니뇨(라니냐) 감시구역(열대 태평양 Nino3.4 지역: 5°S~5°N, 170°W~120°W)에서 3개월 이동평균한 해수면 온도의 편차가 0.5°C(-0.5°C) 이상(이하)으로 나타나는 달이 5개월 이상 지속될 때 그 첫 달을 엘니뇨(라니냐) 발달의 시작으로 봄

• 열대 태평양 해수면 온도 편차에 따른 대기 순환

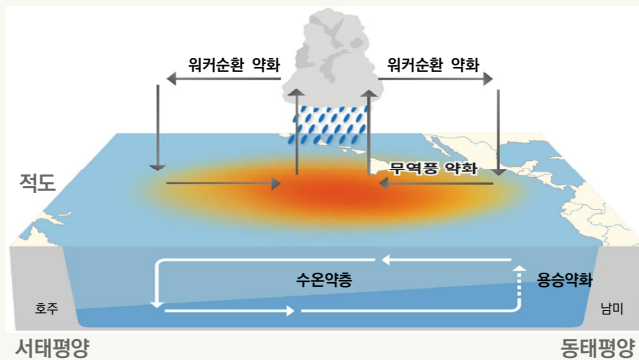
정상 상태

- 적도 태평양에서는 무역풍(동풍)의 영향으로 동에서 서로 향하는 해류가 형성되고 동태평양 남미 연안에서는 용승 작용으로 해수면 온도가 서태평양보다 낮아짐
- 상대적으로 따뜻한 열대 서태평양 부근에서 대기의 상승기류, 동태평양 부근에서 하강기류가 나타나며 동서 방향의 연직 순환장이 형성됨(워커순환(Walker Circulation))



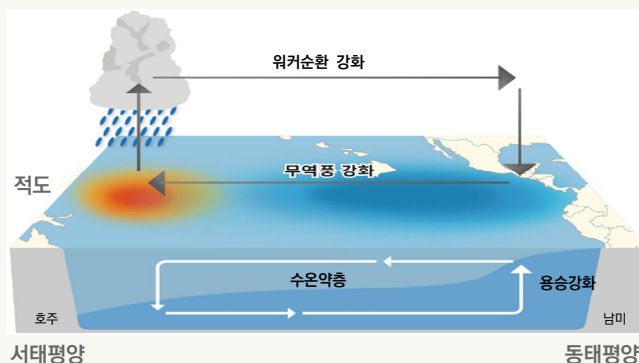
엘니뇨 상태

- 적도 부근 태평양에서 무역풍(동풍)이 평년보다 약해지거나 서풍이 평년보다 강해지면 동태평양 남미 연안에서 용승이 약해지면서 열대 동태평양과 중태평양의 해수면 온도가 평상시보다 높은 상태로 수개월 이상 지속되는 현상을 말함
- 열대 서태평양 부근에서 하강기류, 중-동태평양 부근에서 상승기류가 나타나면서 정상 상태와 반대되는 순환을 형성함(워커순환 약화)

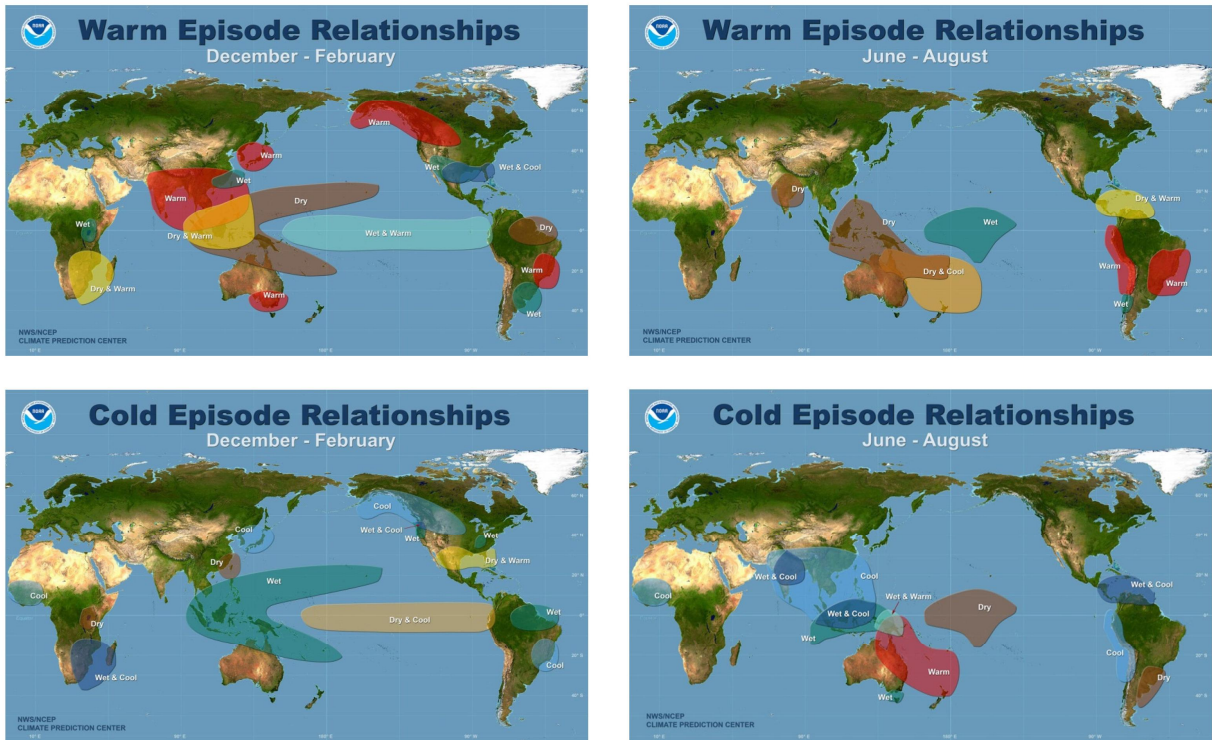


라니냐 상태

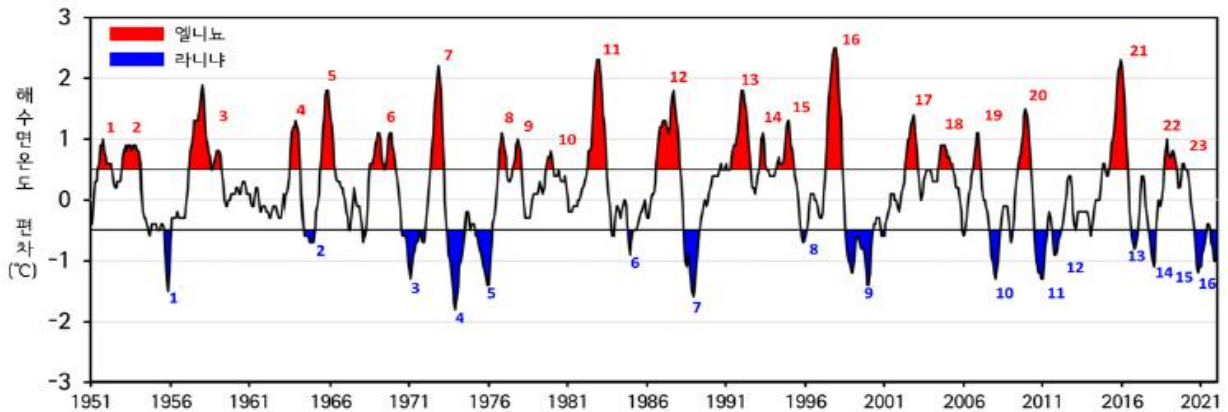
- 적도 부근 태평양에서 무역풍(동풍)이 평년보다 강해지면 주로 중태평양의 해수면 온도가 평상시보다 낮아지면서 서태평양에서 상승기류가 강화되고 동태평양에서는 하강기류가 강화됨(워커순환 강화)



- 엘니뇨·라니냐가 전 세계 및 우리나라에 미치는 영향
 - 엘니뇨가 발생하면 전 세계적으로 이상기상 현상이 나타날 가능성이 높아지며 지역에 따라 다양한 형태의 기상재해가 발생함
 - 일반적으로 엘니뇨가 발달하는 해의 겨울철에 호주 북동부, 동남아시아, 인도 지역에서는 가뭄이, 열대 동태평양 부근에 인접한 중남미 지역은 폭우와 홍수가 발생함
 - 엘니뇨가 발달하는 겨울철에 우리나라는 평년보다 따뜻하고 강수가 많은 경향을 보이지만 각각의 엘니뇨(라니냐) 해마다 그 영향은 눈덮임, 해빙 등의 요인에 의해 매우 다를 수 있음



[그림 II-7] 여름철과 겨울철 기간에 대한 엘니뇨·라니냐의 영향(출처: (미)국립해양대기청(NOAA))



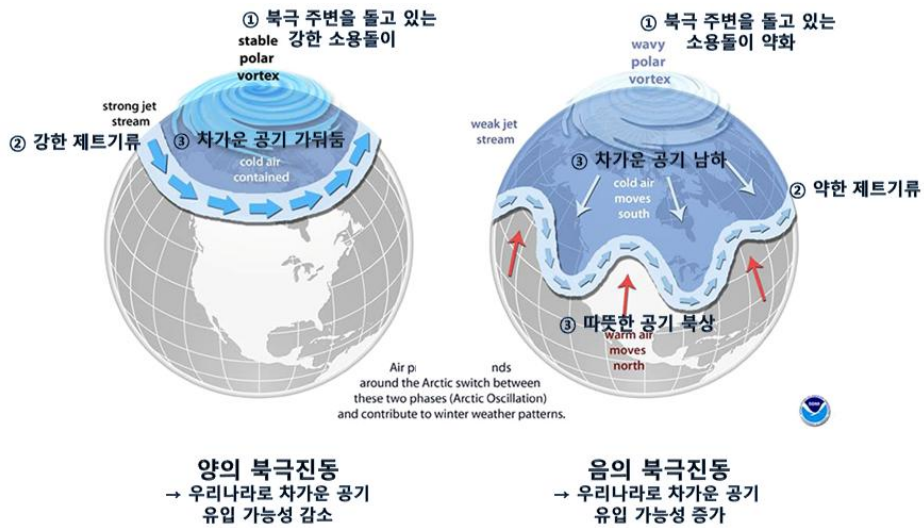
[그림 II-8] 과거 엘니뇨·라니냐 발생 연도(1951~2017년: ERSST³v4/ 2018년~: ERSSTv5 자료, 3개월 이동 평균된 NINO3.4 지수⁴) 시계열

3) Extended Reconstructed Sea Surface Temperature; ERSST(NOAA): 확장 복원된 해수면 온도
 4) 우리나라 기상청의 엘니뇨 감시구역(5°S~5°N, 170°W~120°W)에서 3개월 이동평균한 해수면 온도편차

④ 북극진동(Arctic Oscillation; AO)

북극 주변을 돌고 있는 강한 소용돌이가 수십 일 또는 수십 년 주기로 강약을 되풀이하는 현상으로 북반구 겨울철 기후를 지배하는 중요한 인자 중의 하나이다.(Thompson and Wallace, 1998)

- 극 지역에 극지방의 차가운 공기를 가둬두는 서풍류의 강한 제트기류 극 소용돌이(Polar Vortex)가 존재함. 제트의 세기가 평년보다 강해지면 양의 북극진동, 평년보다 약해지면 음의 북극진동이라고 정의함
- 양의 북극진동 시 극지방 제트가 강해지면 찬 공기가 남하하지 못해 중위도 지방은 평년보다 대체로 따뜻한 겨울이 되며, 음의 북극진동 시 북극의 찬 공기가 중위도까지 내려오면서 평년보다 추운 겨울이 됨

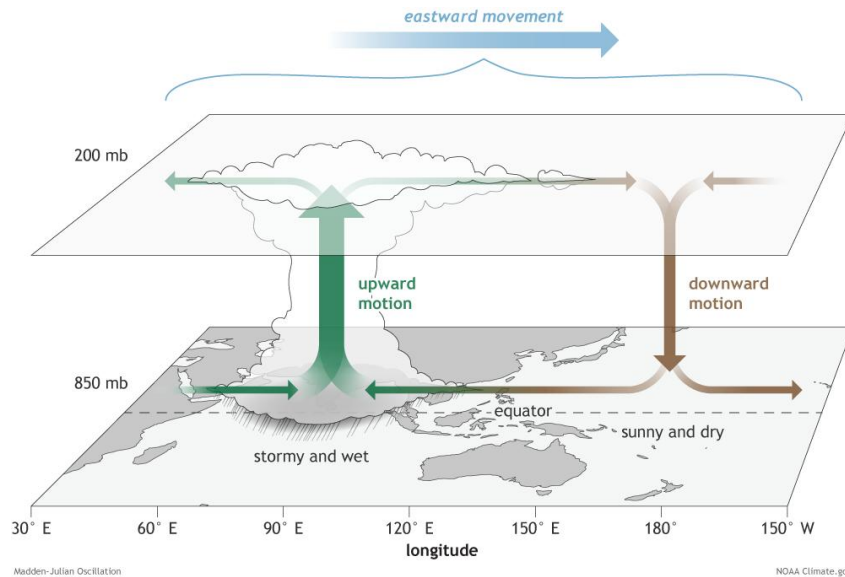


[그림 II-9] 양의 북극진동(좌), 음의 북극진동 모식도(우) (출처: (미)국립해양대기청(NOAA))

⑤ 매든-줄리안진동(Madden Julian Oscillation; MJO)

인도양에서 발달한 대류성 구름대가 30~60일의 주기로 서에서 동으로 이동하는 계절내 변동 현상이다. (Madden and Julian 1971, 1972, 1994; Zhang 2005)

- 지구 대기 대순환에 의해 적도부터 위도 30도까지는 동풍의 무역풍이 존재하고 동태평양은 해수가 동에서 서로 이동하여 깊은 수심의 차가운 물이 올라오므로 낮은 수온, 서태평양은 동쪽에서 이동해 오는 해수가 일사에 의해 가열되면서 상대적으로 높은 수온이 됨
- 동태평양은 하층대기의 냉각으로 하강기류가 우세한 고기압이 생성, 서태평양의 하층대기는 가열되어 상승운동을 일으키는 저기압을 형성하며 동서 방향으로는 워커순환(Walker Circulation)이 형성됨. 서태평양에서 대류성 구름이 발달하고 하층대기의 서풍 기류에 의해 인도양에서 발생하여 서태평양을 거쳐 동태평양으로 이동함

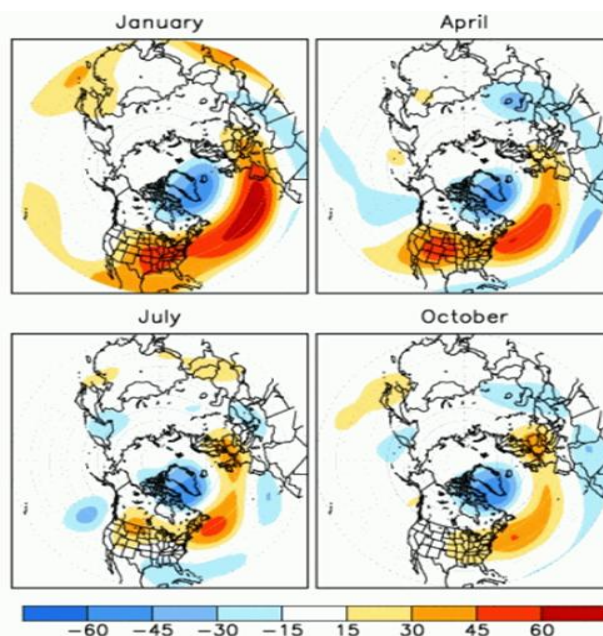


[그림 II-10] 매든-줄리안 진동 상하층 연직 단면도 (출처: (미)국립해양대기청(NOAA Climate.gov))

⑥ 북대서양진동(North Atlantic Oscillation; NAO)

북대서양의 고위도 지역에서 우세한 아이슬란드(Iceland) 저기압과 아조레스(Azores) 고기압 사이 해면 기압의 차이가 시소처럼 변동하는 현상이다.

- 양의 북대서양 진동은 두 기압 세력이 모두 커지는 것으로 아이슬란드 저기압은 평년보다 낮아지고 아조레스 고기압의 기압은 평년보다 높아져 두 기압의 차이가 커지고, 음의 북대서양 진동은 두 기압 세력이 모두 약해지는 것으로 두 기압의 차이가 감소하는 것을 말함
- 일반적으로 북대서양진동 패턴에 의해 형성된 대기 파동이 파동열 형태로 전파되어 동아시아 기후에 영향을 줌. 봄철 양의 북대서양진동 패턴은 우리나라 여름철 장마 강수 감소와 관련됨



[그림 II-11] 월별 양의 북대서양진동 패턴 (출처: (미)국립해양대기청(NOAA))

가. 전지구 이상기후 현황

최근 전 세계 곳곳에서 이상고온, 이상저온, 폭우 등 이상기후의 발생으로 수많은 재산피해와 인명피해가 나타나고 있다. 최근 5년(2018~2022년)간의 전 세계 이상기후 현상을 월별로 살펴보았다.

2018년 1월 초 미국과 캐나다 동부에 체감온도 영하 70℃ 이하로 100년만의 한파와 폭설이 발생하였고, 2019년 1월 말 러시아 모스크바에서 최심적설 44cm의 68년 만의 최고 폭설을 기록하였으며, 2월 중순에는 최심적설 45cm의 149년만의 최고폭설을 기록하였다. 2021년 1~2월 동아시아와 북미, 유럽에 기록적인 한파로 많은 피해가 발생하였다. 대만에서 한파로(1월 7~8일) 약 126명이 저체온증 등으로 사망하였고, 2월 중순에는 미국 본토의 73%가 눈에 덮여 최소 60여 명이 사망하였다. 2022년 미국 일부 지역에는 기온이 영하 43℃ 이하 체감온도가 영하 50℃ 이하로 떨어졌으며, 특히 미국 와이오밍주에서는 30분만에 기온이 20℃ 이상 하강하기도 하였다.

2019년 4월 미국 시카고에 최심적설 20.3cm의 58년 만의 최고 폭설을 기록하였으며, 2021년 3월 중~하순 호주에서는 집중호우로 인하여 60년 만에 최악의 홍수가 발생하여 2명이 사망하고 4만명이 대피하였으며, 2022년 3월부터 5월까지 파키스탄 등의 남아시아 지역에는 폭염과 이상고온 현상이 나타나 파키스탄은 5월 중순부터 50℃를 넘는 지역이 나타났다.

2018년 여름 1950년 이래 북유럽 대부분 지역에서 최고기온이 나타나 스웨덴에서 7월 관측 사상 최고 기온인 34.6℃를 기록하였고, 독일에서는 7월 최고기록 37℃, 8월 39.5℃를 기록하였다. 2019년 네덜란드와 벨기에에는 관측 사상 처음으로 40℃를 초과한 일 최고기온을 기록하였다. 2020년 북극 대부분 지역의 기온이 이례적으로 높았고, 특히, 시베리아 베르호얀스크는 6월 20일 38℃로 북극 최고기온을 경신하였다. 2020년 6~8월 중국과 일본 등 동아시아에서는 기록적으로 긴 장마철과 집중호우가 나타나 많은 인명피해와 재산 피해가 나타났으며, 2021년은 동북아시아에서 장마철 종료 후 폭우가 내리면서 7월 중순 중국 허난성에서 시간당 202mm 폭우로 300명이 사망하였고, 8월 중순에 일본 규슈에서 일주일간 1,159mm의 폭우로 홍수와 산사태가 발생하여 6명이 사망하는 등 인명피해가 발생하였다.

2021년 11월 중순 캐나다 서부에서 이틀만에 약 200mm가 내려 수천명이 고립되었으며, 2022년 12월 중하반기에는 눈폭풍으로 인해 미국 전역에 최소 34명이 사망하고 뉴욕에 약 120cm의 적설이 기록되어 20명 이상의 사망자가 발생하였다.

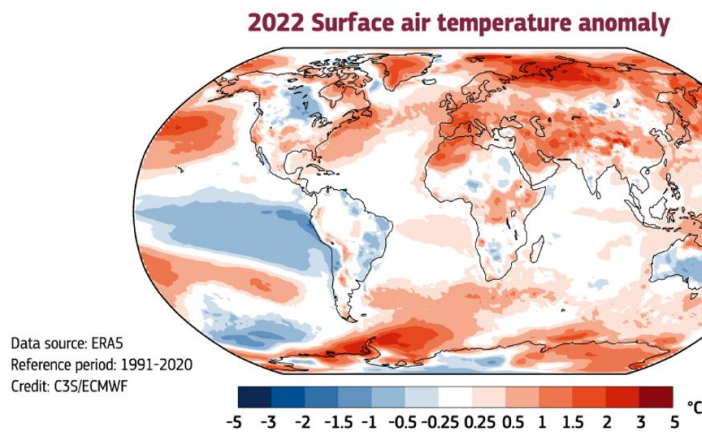
이처럼 전 세계는 지구온난화와 기후변동성으로 인해 이상기후 현상이 빈번하게 발생하여 여러 분야에서 피해가 나타나고 이러한 영향도 증가하고 있다. 이를 대비하기 위해서는 전 지구적인 기후에 대한 면밀한 분석이 필요할 것이다.

나. 전지구 기후변화 현황

① 평균기온의 지속적인 증가

전지구 평균기온은 지속적으로 증가하고 있으며, 지구온난화로 인해 이상기후 현상이 빈번히 발생함에 따라 매해 재산 및 인명 피해가 증가하고 있다. 유럽연합 산하기관인 코페르니쿠스 기후변화서비스 발표('23.1.)에 의하면, 2022년 전지구 평균기온은 평년(1991~2020년) 대비 약 0.3°C, 산업화 이전(1850~1900년) 대비 약 1.2°C 높아 1959년 이후 상위 5위를 기록하였고, 최근 8년(2015~2022년)이 가장 따뜻한 해로 분석되었다.

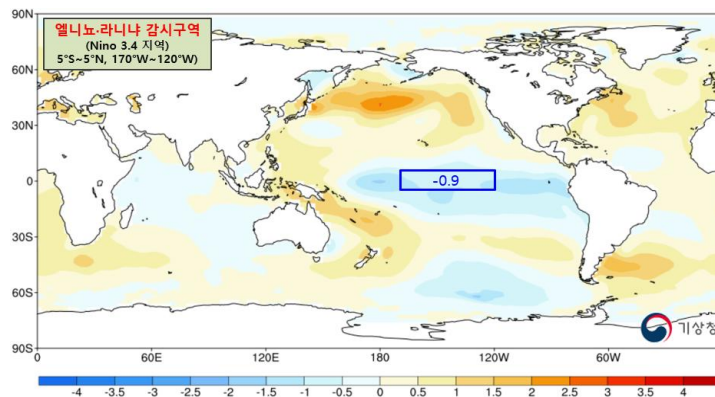
	1위	2위	3위	4위	5위
전지구 평균기온 상위 5순위(재분석자료)	2016년	2020년	2019년	2017년	2022년



[그림 II-12] 2022년 전지구 기온 평년(1991~2020년) 편차 분포 (출처: 코페르니쿠스 기후변화서비스)

② 3년 연속 겨울철 라니냐 발달

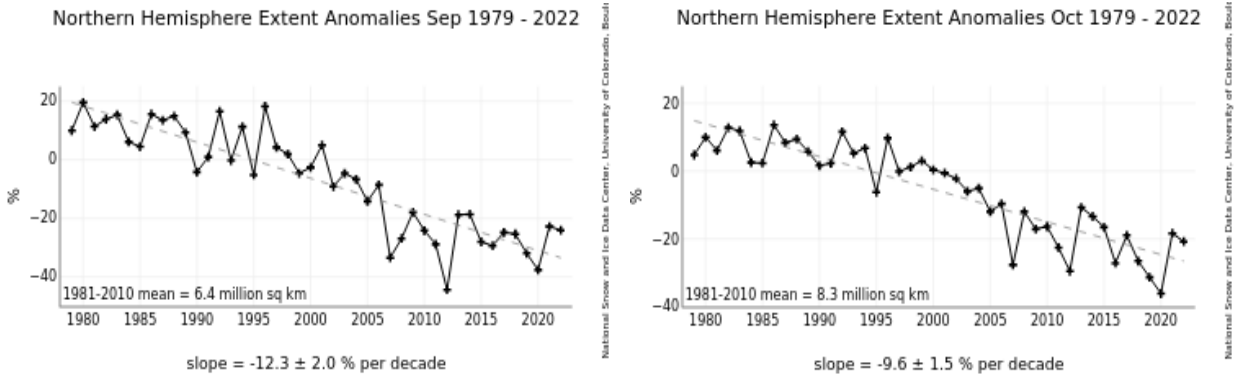
기상청 엘니뇨·라니냐 기준에 따라 라니냐가 2020년 8월에 시작되어 2021년 5월에 1차 종료되었고 2021년 8월에 다시 라니냐가 재발달하여 2022년 겨울철까지 지속되었다. 이는 21세기 들어 처음으로 겨울철에 3년 연속으로 라니냐가 발달한 것으로 전 세계 곳곳의 기온과 강수 패턴에 영향을 미쳤다.



[그림 II-13] 2022년 10~12월 전지구 해수면 온도 평년(1991~2020년)편차 분포(ERSSTv5) (파란박스: 엘니뇨·라니냐 감시구역(Niño 3.4) 해수면 온도(°C) 편차)

③ 북극 해빙면적의 지속적인 감소

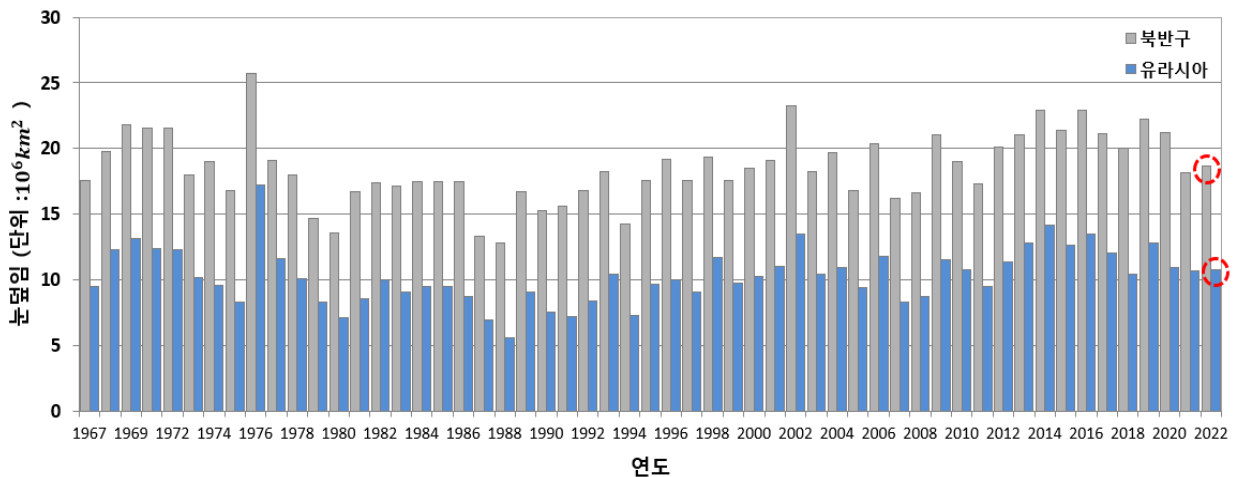
북극 해빙면적은 관측을 시작한 1979년 이후 계속 감소하는 경향을 보이고 있으며 2022년에도 평년보다 적은 상태를 보였다. 2022년 북극 해빙면적은 9월 18일 467만km²로 1979년 관측 이후 열 번째로 적은 면적 (최소면적 1위: 2012년 9월 17일 341만km²)을 기록한 후 점차 증가하였으며 9월과 10월의 북극 해빙면적은 월 최소 11위와 8위를 기록하였다.



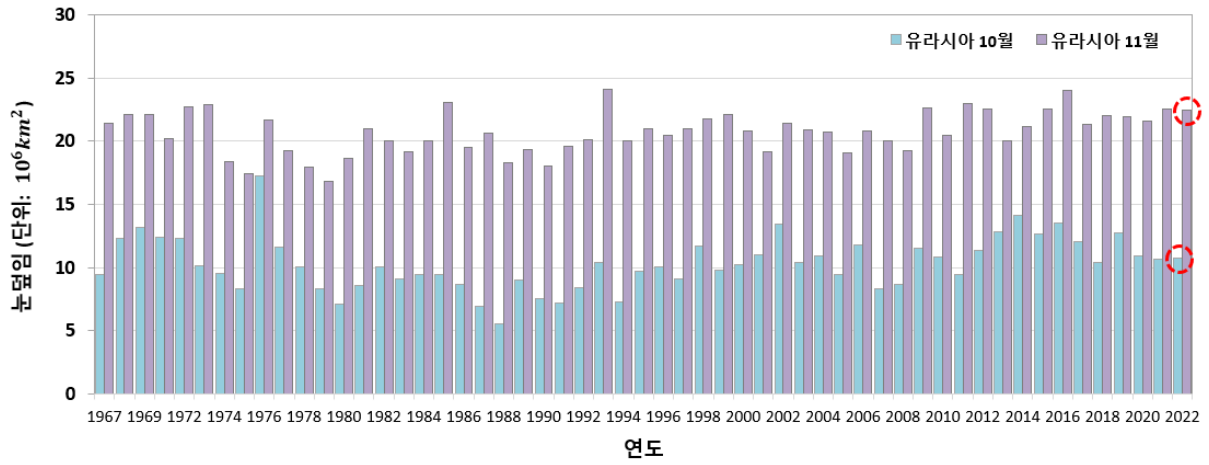
[그림 II-14] 2022년 9월(좌)과 10월 평년(1981~2010)(우) 대비 북극 해빙면적 시계열 (출처: 미국 설빙국립센터)

④ 유라시아 대륙의 눈덮임 변화

2022년 북반구 전체 눈덮임 면적을 보면 늦봄부터 평년보다 매우 적은 면적을 보였으나 일시적으로 11월 들어 급격히 늘어나기도 하였다. 2022년 10월과 11월 북반구 눈덮임 면적은 1967년 이후 각 최다 25위, 4위, 유라시아 눈덮임 면적은 최다 22위와 11위로 북반구와 유라시아 모두 10월에는 평년과 비슷한 수준이었으나 11월에는 눈덮임이 급격히 늘어나 평년보다 많은 수준이었다.



[그림 II-15] 1967~2022년 10월 북반구 및 유라시아 대륙 눈덮임 면적 시계열, 빨간 원: 2022년 10월 (출처: 러거스 대학교(Rutgers University Snow lab))



[그림 II-16] 1967~2022년 10월과 11월 유라시아 대륙 눈덮임 면적 시계열, 빨간 원: 2022년
 (출처: 량거스 대학교(Rutgers University Snow lab))

3 우리나라 이상기후 및 기후변화 현황

가. 우리나라 이상기후

최근 우리나라에는 폭염, 한파, 폭우 등 다양한 이상기후 현상이 봄, 여름, 가을, 겨울 모든 계절에 다양하게 나타나고 있다. 최근 5년(2018~2022년)의 우리나라 기상 이슈들을 월별로 살펴보았다.

2019년 1월 강수일수가 2.8일로 최소 1위를 기록하였고, 2020년 1월 전국 평균기온은 2.8℃, 최고기온은 7.7℃, 최저기온은 -1.1℃로 모두 상위 1위를 기록하였으며, 2021년 1월에는 상순에 전국적으로 한파가 중순 이후로는 고온현상이 나타나면서 1월 내 기온 변동폭이 19.7℃로 1973년 이후 가장 크게 나타났다.

2020년 4월에는 서울에 진눈깨비가 내려 기상관측 이후 가장 늦은 봄눈을 기록하였으며 2021년 3월에는 평균기온은 8.7℃, 최고기온은 14.8℃, 최저기온은 3.1℃로 1973년 이후 모두 상위 1위를 기록하면 역대 가장 빠른 서울 벚꽃 개화를 기록하였다. 2022년 4월에는 중순부터 하순까지 초여름에 해당하는 이상고온 현상이 나타났다.

2018년 여름철 평균기온은 25.4℃로 1973년 이후로 가장 높았으며 특히 홍천에서 41℃를 기록하여 기상관측 개시 이래 우리나라에서 가장 높은 기온을 기록하였다. 2020년 6월 때이른 폭염이 나타나면서 폭염일수 2일로 상위 1위를 기록하였으며 6월 평균기온이 7월 평균기온보다 높게 나타났다. 2022년 우리나라에 영향을 준 태풍 3개중 9월에 영향을 준 태풍이 1개로 2016년 이후 6년 연속으로 9월 태풍의 영향을 받았다.

2019년 10월 월강수량 169.0mm로 최다 1위를 기록하였고, 2020년 10월 전국 강수량은 10.5mm, 강수일수 2.6일로 1973년 이후 두 번째로 적었고, 서울, 인천 등은 가장 적은 강수량을 기록하여 매우 건조하였다. 11월 중순에는 전국 평균기온은 연일 극값을 경신할 정도로 큰 폭으로 상승하였고, 19일은 이례적인 많은 강수로 서울에서 11월 일강수량 최다 1위를 기록하였다. 또한 2021년 10월에는 중반까지 늦여름의 고온 현상을 보이다가 이후에 한파주의보가 발표되는 등 초겨울의 저온 현상이 나타나며 매우 큰 기온변동이 나타났다.

이처럼 계속되는 기후변동성의 증가로 이상기후 현상이 빈번하고 나타나고 있으므로, 이에 대한 분석을 통하여 효과적인 대응방안을 모색해야 한다.

나. 우리나라 기후변화 현황 및 분석

지구가 생긴 이래 기후는 계속해서 변화하고 있으며 변화의 요인 또한 다양하다. 현재 기후에 대한 감시뿐만 아니라 과거로부터 현재까지의 기후가 어떻게, 얼마나 변화하고 있는지에 대한 장기간 추세를 이해하기 위해 근대 기상관측을 시작한 1904년부터의 자료를 활용하여 100년 이상 장기간 기후변화 추세를 분석하였다. 장기적인 기후변화⁵⁾와 최근 기후변화⁶⁾의 분석 결과는 다음과 같다.

5) 최근 30년(1991~2020년)과 과거 30년(1912~1940년)의 결과 비교

6) 최근 10년(2011~2020년)과 최근 30년(1991~2020년)/최근 30년(1991~2020)과 지난 30년(1981~2010년)의 결과 비교

장기적인 기후변화

- 봄과 겨울 기온 상승이 뚜렷하고 여름 기온은 큰 변화 없음
- 강수량 증가는 뚜렷하고, 강수일수는 감소, 강수강도는 증가 경향임
- 겨울철, 최저기온 관련 극한지수의 변화가 뚜렷함
- 고온 극한기후지수 중 여름 최저기온 관련 지수 증가, 저온 극한기후지수 뚜렷하게 감소함
- 봄과 여름 시작일이 빨라졌으며 여름은 길어지고 겨울은 짧아짐
- 모든 절기에서 기온이 상승하였으며 겨울과 봄 절기의 기온 상승이 뚜렷함

최근 기후변화

- 여름 기온 상승이 뚜렷하고 겨울 기온은 다소 하강함
- 강수량과 강수일수가 감소함
- 최근 10년(2011~2020년) 여름이 더워지고 겨울이 추워짐(2월 기온 -0.8°C)
- 최근 10년 폭염이 가장 많이 발생함(지난 109년 간)
- 최근 30년(1991~2020년) 중 최근 10년에 저온 극한기후현상 가장 많이 발생함
- 최근 10년 여름 극한강수, 겨울 극한지수, 최대 무강수 지속기간의 변동성이 큼

※ 분석자료

- 기상청 기상관측 지점 중 100년 이상 관측자료를 보유하고 있는 강릉, 서울, 인천, 대구, 부산, 목포 총 6개 기상 관측소에서 관측된 기후요소와 관측자료를 분석함
- 6개 기상관측소 관측 시기는 일치하지 않으므로, 자료의 일관성을 위하여 1912년을 분석기간의 첫 해로 설정하였음
 - 1912년부터 2020년까지 총 109년간 일 관측자료를 사용함
 - 한국전쟁이 일어난 1950년부터 1953년까지의 자료는 분석에서 제외함

<표 II-1> 6개 관측지점 정보

관측지점	북위(° N)	동경(° E)	해발고도(m)	관측개시(연도)
강릉	37.75	128.89	26.0	1911
서울	37.57	126.97	85.8	1907
인천	37.48	126.62	68.2	1904
대구	35.89	128.62	64.1	1907
부산	35.10	129.03	69.6	1904
목포	34.82	126.38	38.0	1904

① 기온 변화

1) 연평균기온 변화

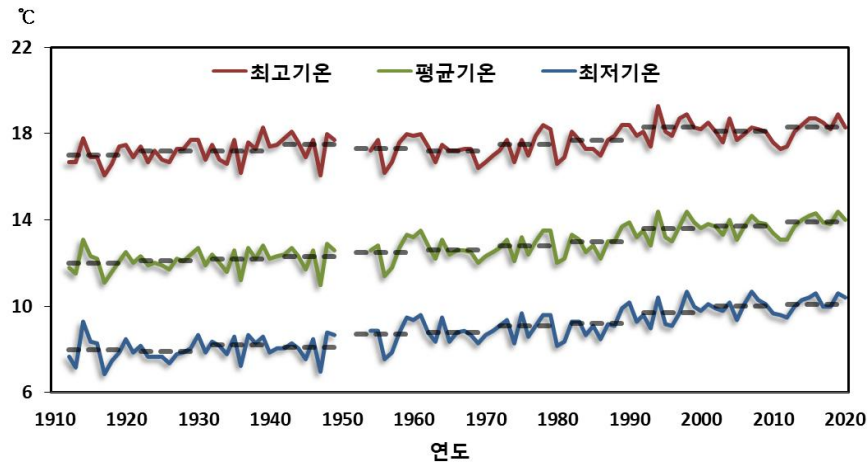
지난 109년간(1912~2020년) 우리나라의 기온은 꾸준히 상승하였으며 특히 최저기온의 상승이 뚜렷하나 최근에 최저기온의 상승이 정체되었다.

장기 기후변화

- 최근 30년 연평균기온은 과거 30년에 비해 1.6℃ 상승하였고, 매 10년당 0.2℃ 상승함
 - 일 최고기온과 최저기온은 각각 1.1℃, 1.9℃ 상승하였고 매 10년당 각각 0.13℃, 0.24℃ 상승함

최근 기후변화

- 최근 30년 연평균기온은 지난 30년에 비해 0.3℃ 상승함
 - 일 최고기온과 최저기온은 각각 0.2℃, 0.3℃ 상승함
- 최근 10년 연평균기온은 최근 30년에 비해 0.2℃ 상승함
 - 일 최고기온과 최저기온은 각각 0.1℃, 0.2℃ 상승함
- 지난 109년간 가장 더운 10년 중 6회가 최근 10년 내에 발생함



[그림 II-17] 연평균 최고, 평균, 최저기온의 변화(1912~2020년)

<표 II-2> 우리나라 109년간 연평균 최고, 평균, 최저기온의 평균과 변화(1912~2020년)

구 분	장기 기후변화			최근 기후변화	
	평 균(109년)	변화경향(/10년)	최근 30년 - 과거 30년	최근 30년 - 지난 30년	최근 10년 - 최근 30년
평균기온(℃)	12.8	+0.20	+1.6 12.1 → 13.7	+0.3 13.4 → 13.7	+0.2 13.7 → 13.9
최고기온(℃)	17.5	+0.13	+1.1 17.1 → 18.2	+0.2 18.0 → 18.2	+0.1 18.2 → 18.3
최저기온(℃)	8.9	+0.24	+1.9 8.0 → 9.9	+0.3 9.6 → 9.9	+0.2 9.9 → 10.1

<표 II-3> 6개 관측지점의 연평균, 최고, 최저기온의 가장 더운 연도의 순위와 기온(1912~2020년)

기후요소	1위	2위	3위	4위	5위	6위	7위	8위	9위	10위
평균기온(°C)	2019 (14.4)	1998 (14.4)	1994 (14.4)	2016 (14.3)	2015 (14.2)	2007 (14.2)	2020 (14.0)	2014 (14.0)	2004 (14.0)	2017 (13.9)
최고기온(°C)	1994 (19.3)	2019 (18.9)	1998 (18.9)	2016 (18.7)	2015 (18.7)	2004 (18.7)	1997 (18.7)	2017 (18.5)	2001 (18.5)	2014 (18.4)
최저기온(°C)	2007 (10.7)	1998 (10.7)	2019 (10.6)	2016 (10.6)	2020 (10.4)	2015 (10.4)	1994 (10.4)	2014 (10.3)	2008 (10.3)	2004 (10.2)

2) 계절별 기온 변화

지난 109년간 겨울과 봄에 기온 상승 경향이 뚜렷하고 여름에 가장 작았다. 반면에 최근 봄과 여름의 기온 상승 경향이 뚜렷하고 겨울의 기온 상승 경향이 가장 작았다.

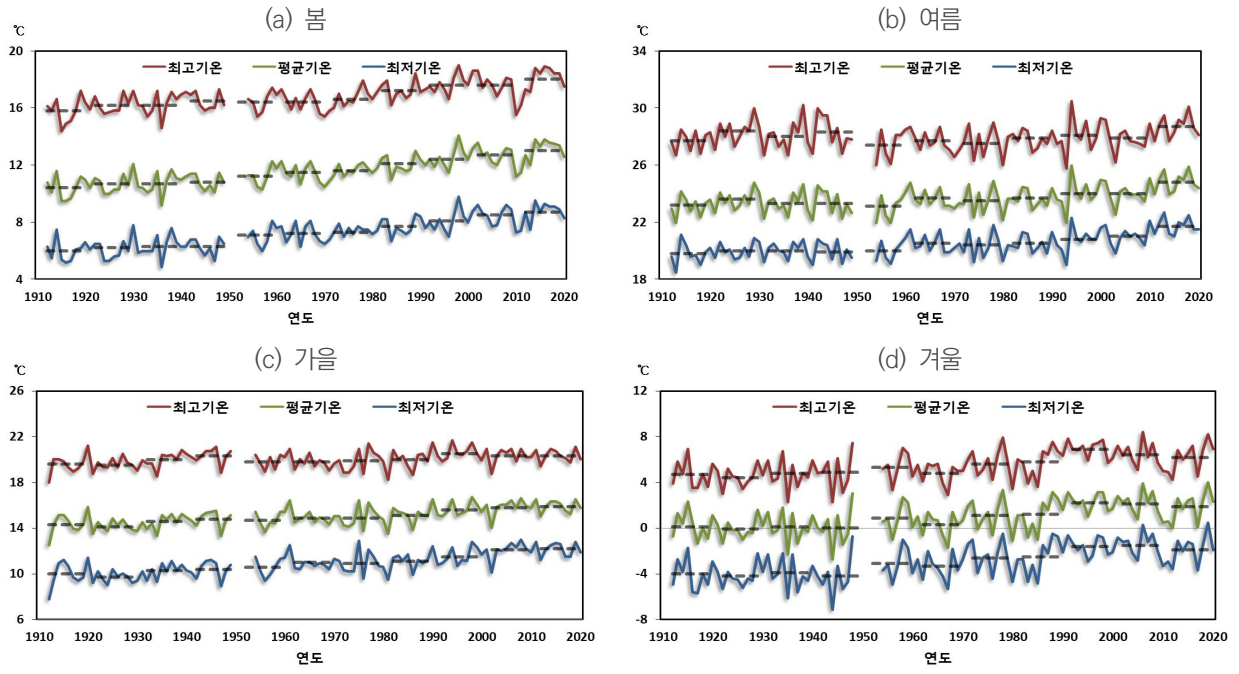
장기 기후변화

- 지난 109년간 계절별 평균기온의 상승률은 봄, 겨울, 가을, 여름 순으로 큼
 - 10년당 기온 상승률: 봄(+0.26°C) > 겨울(+0.24°C) > 가을(+0.17°C) > 여름(+0.12°C)
 - 겨울 최저기온 상승률(+0.30°C)이 가장 크고, 여름 최고기온 상승률(+0.02°C)이 가장 작음
- 과거 30년 대비 최근 30년 계절별 기온 상승폭은 겨울, 봄, 가을, 여름 순으로 큼
 - 겨울(+2.1°C), 봄(+2.1°C) > 가을(+1.4°C) > 여름(+0.9°C)
 - 겨울과 봄 최저기온 상승폭(+2.3°C)이 가장 크고, 여름 최고기온은 큰 변화 없음

최근 기후변화

- 지난 30년 대비 최근 30년 기온 상승폭은 여름이 가장 크고 겨울이 가장 작음
 - 여름(+0.4°C) > 봄(+0.3°C), 가을(+0.3°C) > 겨울(+0.2°C)
 - 최근 40년간 겨울 기온은 1980년대 중·후반에 급상승한 이후로 서서히 하강 추세임
- 최근 30년 대비 최근 10년 여름 평균기온은 0.5°C 상승, 겨울 평균기온은 0.2°C 하강함
 - 여름(+0.5°C) > 봄(+0.3°C), 가을(+0.1°C) > 겨울(-0.2°C)
 - 장기적인 추세와는 반대로 여름 최고기온은 0.5°C 상승, 겨울 최저기온은 0.3°C 하강함
- 겨울철 기온 변동성은 1980년대, 2010년대에 가장 큼
 - 1980년대 중반 기후 체계 변위(기후 체계 변위)로 인해 기온이 급상승함
 - 기온 급상승 이후, 최근 30년간 겨울철 기온은 다소 하강하는 추세이며, 최근 10년간 기온의 변동성이 비교적 큼
 - 2012년(-3.6°C), 2017년(-3.7°C)은 1981년 이후 겨울이 가장 추운 5년에 포함됨

7) 겨울철 기온 급변 연구 사례(기후 체계 변위: 기후 평균값이 눈에 띄는 갑작스러운 변화가 발생하는 현상): 1986년과 2009년 우리나라 겨울철 기온에 기후 체계 변위(Climatic Regime Shift)가 발생하여 겨울철 기온이 급변함 (최지영 외, 2019; 안영준 외, 2020)



[그림 II-18] 계절별 최고, 평균, 최저기온의 변화(1912~2020년)

<표 II-4> 우리나라 109년간 계절별 최고, 평균, 최저기온의 평균과 변화(1912~2020년)

구 분	장기 기후변화			최근 기후변화		
	평 균(109년)	변화경향(/10년)	최근 30년 - 과거 30년	최근 30년 - 지난 30년	최근 10년 - 최근 30년	
봄	평균기온(°C)	11.6	+0.26	+2.1 10.6 → 12.7	+0.3 12.4 → 12.7	+0.3 12.7 → 13.0
	최고기온(°C)	16.8	+0.20	+1.6 16.1 → 17.7	+0.2 17.5 → 17.7	+0.3 17.7 → 18.0
	최저기온(°C)	7.2	+0.28	+2.3 6.1 → 8.4	+0.3 8.1 → 8.4	+0.3 8.4 → 8.7
여름	평균기온(°C)	23.7	+0.12	+0.9 23.4 → 24.3	+0.4 23.9 → 24.3	+0.5 24.3 → 24.8
	최고기온(°C)	28.0	+0.02	+0.1 28.1 → 28.2	+0.3 27.9 → 28.2	+0.5 28.2 → 28.7
	최저기온(°C)	20.4	+0.16	+1.3 19.9 → 21.2	+0.4 20.8 → 21.2	+0.5 21.2 → 21.7
가을	평균기온(°C)	15.0	+0.17	+1.4 14.4 → 15.8	+0.3 15.5 → 15.8	+0.1 15.8 → 15.9
	최고기온(°C)	20.0	+0.08	+0.7 19.7 → 20.4	+0.1 20.3 → 20.4	-0.1 20.4 → 20.3
	최저기온(°C)	10.9	+0.24	+1.9 10.0 → 11.9	+0.4 11.5 → 11.9	+0.3 11.9 → 12.2
겨울	평균기온(°C)	0.9	+0.24	+2.1 0.0 → 2.1	+0.2 1.9 → 2.1	-0.2 2.1 → 1.9
	최고기온(°C)	5.4	+0.22	+1.9 4.6 → 6.5	+0.2 6.3 → 6.5	-0.3 6.5 → 6.2
	최저기온(°C)	-2.9	+0.30	+2.3 -4.0 → -1.7	+0.2 -1.9 → -1.7	-0.2 -1.7 → -1.9

3) 월별 기온 변화

지난 109년간 평균기온은 모든 월에서 상승하며, 최고기온은 7~8월에 다소 감소하였다. 최근에는 장기 추세와 반대의 특성이 나타났다.

장기 기후변화

- 과거 30년 대비 최근 30년에 1~3월에 기온 상승폭이 크고 7~8월에 상승폭이 작음
 - 평균기온은 3월(+2.5℃), 최고기온은 2월(+2.3℃), 최저기온은 1월(+2.8℃)에 상승폭이 가장 큼
 - 7월은 기온 상승폭이 가장 작음. 평균기온(+0.6℃), 최고기온(-0.1℃), 최저기온(+0.9℃)

최근 기후변화

- 지난 30년 대비 최근 30년에 12월을 제외한 모든 기간에 기온이 다소 상승함
 - 평균, 최고, 최저기온은 상반기에 크게 상승하고 월에 따라 최대 0.5℃까지 상승하며, 12월에는 각각 0.1℃, 0.2℃, 0.1℃ 하강함
- 최근 30년 대비 최근 10년에 5~8월에 기온 상승폭이 크고 12~2월에 기온 하강함
 - 8월에 평균, 최고, 최저기온의 상승폭이 각각 +0.6℃, +0.6℃, +0.7℃로 가장 큼
 - 12월에 평균, 최고, 최저기온의 하락폭이 각각 -0.7℃, -0.8℃, -0.5℃로 가장 큼

4) 고온 극한기후지수의 변화

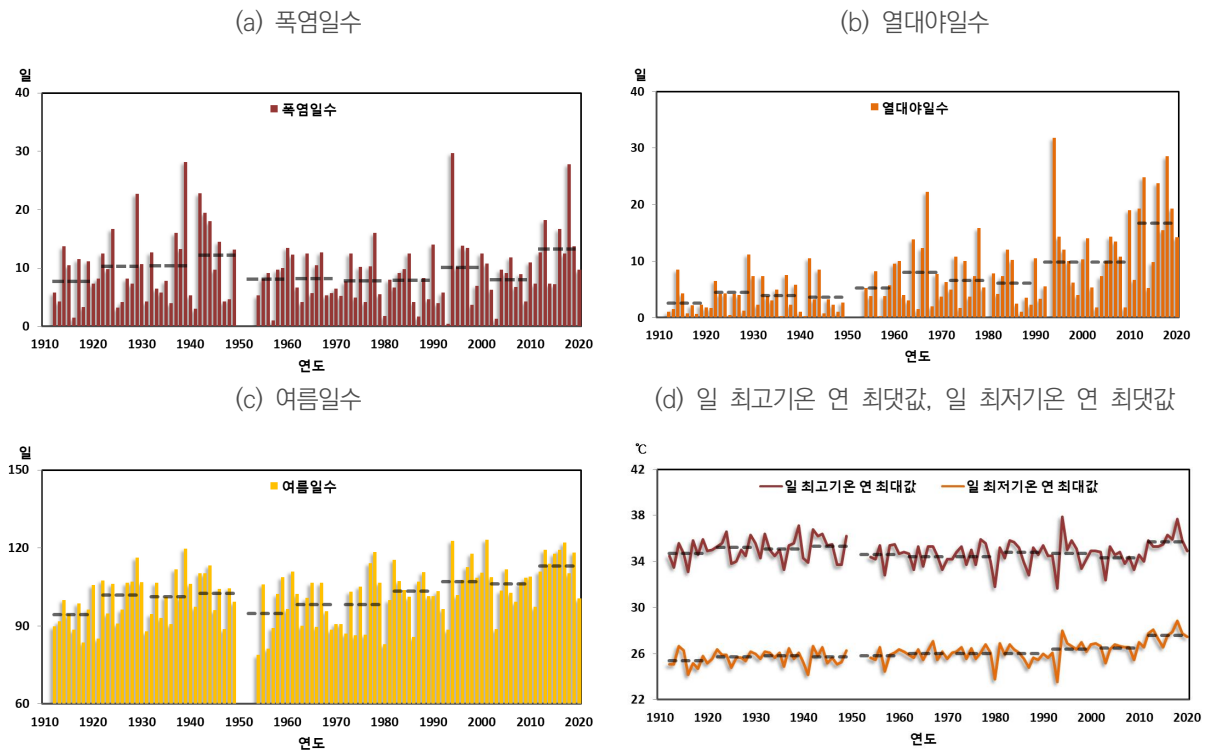
지난 109년간 여름철 최고기온 관련 극한지수는 변화가 없고 여름철 최저기온 관련 극한지수는 꾸준히 증가하였다. 최근에는 고온 극한기후지수가 급증하였다.

여름철 일 최고기온 관련(장기: 변화없음, 최근: 급증)

- (폭염일수) 지난 109년간 매 10년당 +0.09일로 뚜렷한 변화 없음
 - 109년간 여름철 최고기온이 거의 증가하지 않아 33℃ 이상 고온 발생빈도는 큰 변화 없음
 - 최근 30년 대비 최근 10년은 여름철 최고기온의 상승에 따라 폭염일이 2.8일 증가함
- (일 최고기온 연 최댓값) 지난 109년간 매 10년당 -0.01일로 뚜렷한 변화 없음
 - 지난 30년 대비 최근 30년에 0.3℃ 상승, 최근 30년 대비 최근 10년에 0.8℃ 상승함

여름철 일 최저기온 관련(장기: 증가, 최근: 증가)

- (열대야일수) 지난 109년간 매 10년당 +1.06일로 증가 추세임
 - 지난 30년 대비 최근 30년에 3.5일 증가, 최근 30년 대비 최근 10년에 4.6일로 급증함
- (일 최저기온 연 최댓값) 지난 109년간 매 10년당 +0.15℃로 상승 추세임
 - 지난 30년 대비 최근 30년에 0.5℃ 상승, 최근 30년 대비 최근 10년에 0.8℃ 상승함



[그림 II-19] 고온 관련 일수의 변화(1912~2020년)

<표 II-5> 우리나라 109년간 고온 극한기후지수의 평균과 변화(1912~2020년)

구 분	장기 기후변화			최근 기후변화	
	평 균(109년)	변화경향(/10년)	최근 30년 - 과거 30년	최근 30년 - 지난 30년	최근 10년 - 최근 30년
폭염일수(일)	9.5	+0.09	+1.0 9.5 → 10.5	+1.8 8.7 → 10.5	+2.8 10.5 → 13.3
열대야일수(일)	7.1	+1.06	+8.4 3.7 → 12.1	+3.5 8.6 → 12.1	+4.6 12.1 → 16.7
여름일수(일)	102.2	+1.22	+9.4 99.3 → 108.7	+3.1 105.6 → 108.7	+4.3 108.7 → 113.0
온난일(일)	35.8	+0.12	+1.7 36.1 → 37.8	+2.6 35.2 → 37.8	+3.0 37.8 → 40.8
온난야(일)	36.1	+1.12	+8.5 32.8 → 41.3	+4.0 37.3 → 41.3	+5.3 41.3 → 46.6
온난일 계속기간(일)	18.8	-0.06	+0.1 19.2 → 19.3	+1.4 17.9 → 19.3	+2.5 19.3 → 21.8
최대온난일 계속기간(일)	12.7	+0.11	+1.2 12.5 → 13.7	+1.9 11.8 → 13.7	+3.7 13.7 → 17.4
일 최고기온 연 최댓값(°C)	34.8	-0.01	-0.1 35.0 → 34.9	+0.3 34.6 → 34.9	+0.8 34.9 → 35.7
일 최저기온 연 최댓값(°C)	26.1	+0.15	+1.1 25.7 → 26.8	+0.5 26.3 → 26.8	+0.8 26.8 → 27.6

5) 저온 극한기후지수의 변화

저온 극한기후지수는 지난 109년간 꾸준히 감소하였고, 최근 30년 중에서 최근 10년 동안 저온 극한지수가 가장 많이 발생하였다.

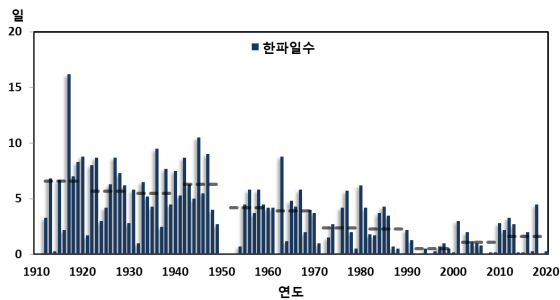
겨울철 일 최저기온 관련 지수(장기: 감소, 최근: 증가)

- (한파일수) 지난 109년간 매 10년당 -0.61 일로 감소 추세임
 - 109년간 겨울철 최저기온의 증가 추세가 가장 뚜렷하여 한파일수 감소추세 큼
 - 지난 30년 대비 최근 30년에 0.3일 감소, 최근 30년 대비 최근 10년에 0.6일 증가함
 - 최근 10년은 한파의 연간 발생일의 편차가 최근 40년 중 가장 큼. 특히 2018년은 4.5회 발생(1981년 이후 가장 많이 발생)한 반면, 2019년은 0회 발생함
- (일 최저기온 연 최솟값) 지난 109년간 매 10년당 $+0.36^{\circ}\text{C}$ 로 상승 추세임
 - 지난 30년 대비 최근 30년에 0.2°C 상승, 최근 30년 대비 최근 10년에 0.6°C 하강함

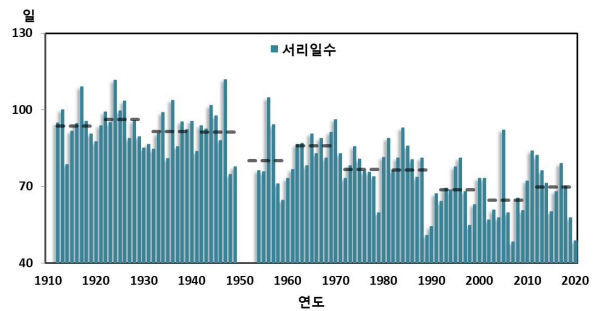
겨울철 일 최고기온 관련 지수(장기: 감소, 최근: 증가)

- (서리일수) 지난 109년간 매 10년당 -3.23 일로 감소 추세임
 - 지난 30년 대비 최근 30년에 2.2일 감소, 최근 30년 대비 최근 10년에 2.0일 증가함
- (한랭일: 추운 낮) 지난 109년간 10년당 -1.91 일로 감소 추세임
- (일 최고기온 연 최솟값) 지난 109년간 매 10년당 $+0.31^{\circ}\text{C}$ 로 상승 추세임
 - 지난 30년 대비 최근 30년에 0.2°C 일 상승, 최근 30년 대비 최근 10년에 0.6°C 하강함

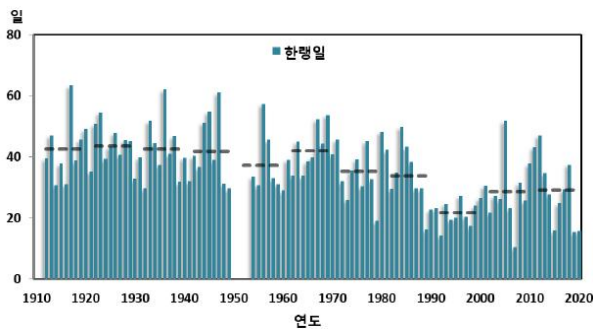
(a) 한파일수



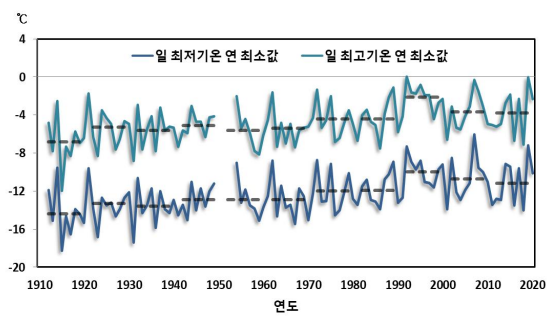
(b) 서리일수



(c) 한랭일



(d) 일 최고기온 연 최솟값, 일 최저기온 연 최솟값



[그림 II-20] 저온 극한기후지수의 변화(1912~2020년)

<표 II-6> 우리나라 109년간 저온 극한기후지수의 평균과 변화(1912~2020년)

구 분	장기 기후변화			최근 기후변화	
	평 균(109년)	변화경향(/10년)	최근 30년 - 과거 30년	최근 30년 - 지난 30년	최근 10년 - 최근 30년
한파일수(일)	3.5	-0.61	-4.9 5.9 → 1.0	-0.3 1.3 → 1.0	+0.6 1.0 → 1.6
결빙일수(일)	12.5	-0.88	-7.7 15.4 → 7.7	-1.0 8.7 → 7.7	+1.6 7.7 → 9.3
서리일수(일)	81.3	-3.23	-26.1 93.9 → 67.8	-2.2 70.0 → 67.8	+2.0 67.8 → 69.8
한랭일(일)	36.0	-1.91	-16.4 42.9 → 26.5	-1.5 28.0 → 26.5	+2.7 26.5 → 29.2
한랭야(일)	35.9	-2.62	-21.3 45.2 → 23.9	-2.7 26.6 → 23.9	+1.6 23.9 → 25.5
한랭야 계속기간(일)	15.8	-1.89	-16.1 22.4 → 6.3	-2.7 9.0 → 6.3	+1.2 6.3 → 7.5
최대한랭야 계속기간(일)	9.1	-0.85	-7.2 11.6 → 4.4	-1.4 5.8 → 4.4	+0.7 4.4 → 5.1
일 최고기온 연 최솟값(°C)	-4.7	+0.31	+2.7 -5.9 → -3.2	+0.2 -3.4 → -3.2	-0.6 -3.2 → -3.8
일 최저기온 연 최솟값(°C)	-12.3	+0.36	+3.1 -13.7 → -10.6	+0.2 -10.8 → -10.6	-0.6 -10.6 → -11.2

② 강수 변화

1) 연 강수 변화

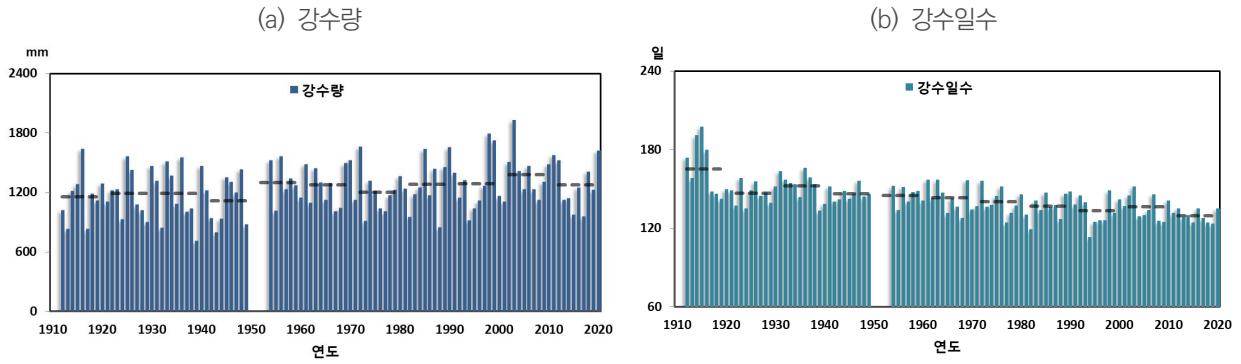
지난 109년간 우리나라의 강수량은 증가하며, 강수일수는 감소하는 추세를 보였다.

장기 기후변화

- (강수량) 지난 109년간 매 10년당 +17.71mm로 증가 추세임
 - 과거 30년 대비 최근 30년에 135.4mm 증가함
- (강수일수) 지난 109년간 매 10년당 -2.73일로 감소 추세임
 - 과거 30년 대비 최근 30년에 21.2일 감소함

최근 기후변화

- (강수량) 최근 다소 감소 추세임
 - 지난 30년 대비 최근 30년에 0.6mm 감소, 최근 30년 대비 최근 10년에 35.7mm 감소함
- (강수일수) 109년 장기 추세에 비해 최근 급감함
 - 지난 30년 대비 최근 30년에 2.4일 감소, 최근 30년 대비 최근 10년에 3.6일 감소함



[그림 II-21] 연간 강수량, 강수일수, 강수강도의 변화(1912~2020년)

<표 II-7> 우리나라 109년간 강수량과 강수일수의 평균과 변화(1912~2020년)

구 분	장기 기후변화			최근 기후변화	
	평 균(109년)	변화경향(/10년)	최근 30년 - 과거 30년	최근 30년 - 지난 30년	최근 10년 - 최근 30년
강수량(mm)	1242.6	+17.71	+135.4 1180.1 → 1315.5	-0.6 1316.1 → 1315.5	-35.7 1315.5 → 1279.8
강수일수(일)	142.9	-2.73	-21.2 154.4 → 133.2	-2.4 135.6 → 133.2	-3.6 133.2 → 129.6

2) 계절별 강수 변화

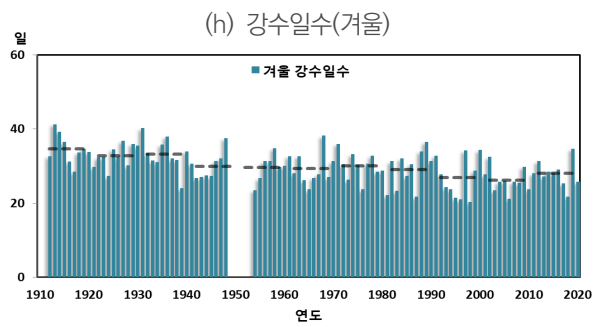
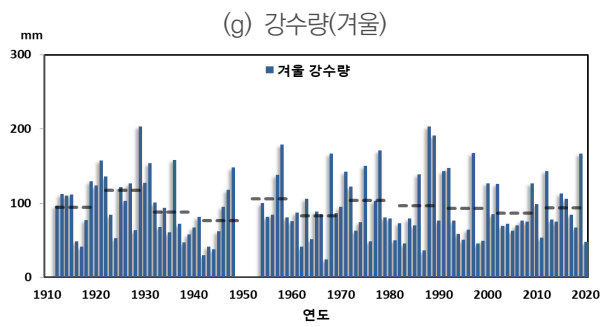
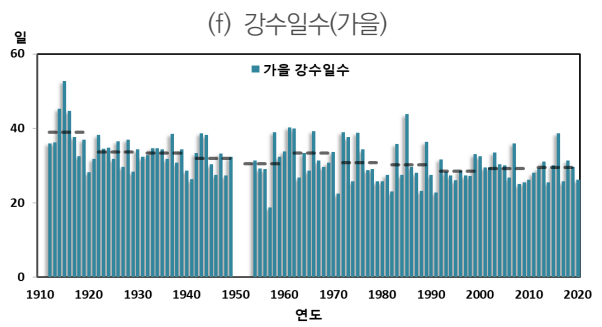
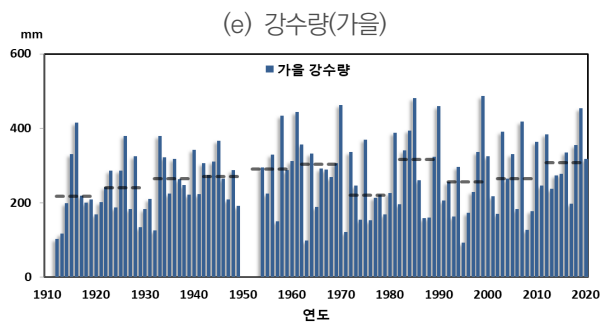
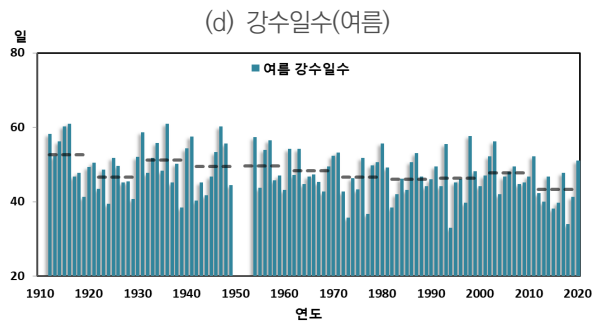
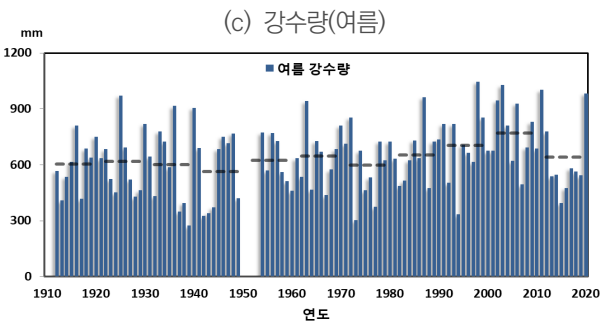
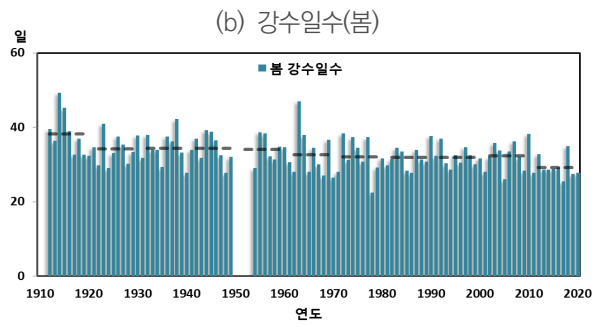
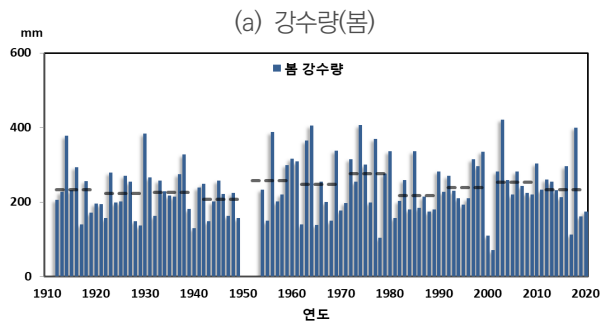
지난 109년간 여름 강수량이 크게 증가하였고 강수일수는 모든 계절에서 고르게 감소하였다.

장기 기후변화(여름증가)

- (강수량) 지난 109년간 계절별 강수량 변화는 여름에 뚜렷하게 증가하고, 가을과 봄에 다소 증가, 겨울에는 큰 변화 없음. 여름에만 유의한 증가를 보임
 - 10년당 강수량 변화율: 여름(+15.55mm) > 가을(+5.16mm) > 봄(+1.83mm) > 겨울(-0.65mm)
- (강수일수) 지난 109년간 모든 계절에서 고르게 감소함
 - 10년당 강수일수 변화율: 가을(-0.76일) > 겨울(-0.72일) > 봄(-0.60일), 여름(-0.60일)

최근 기후변화(여름감소, 가을증가)

- (강수량) 최근 10년, 가을과 겨울에 다소 증가함
 - 최근 30년 대비 최근 10년에 가을과 겨울에 각각 31.8mm, 2.6mm 증가. 여름에 64.3mm 감소
- (강수일수) 최근 10년, 봄과 여름에 감소하고 가을과 겨울에 증가함
 - 최근 30년 대비 최근 10년 봄(-2.0일), 여름(-2.5일), 가을(+0.4일), 겨울(+1.0일)



[그림 II -22] 계절별 강수량, 강수일수의 변화(1912~2020년)

<표 II -8> 우리나라 109년간 계절별 강수량과 강수일수의 평균과 변화(1912~2020년)

구 분		장기 기후변화			최근 기후변화	
		평 균(109년)	변화경향(/10년)	최근 30년 - 과거 30년	최근 30년 - 지난 30년	최근 10년 - 최근 30년
봄	강수량(mm)	237.6	+1.83	+14.9 227.3 → 242.2	+5.5 236.7 → 242.2	-8.2 242.2 → 234.0
	강수일수(일)	33.1	-0.60	-4.3 35.5 → 31.2	-0.9 32.1 → 31.2	-2.0 31.2 → 29.2
여름	강수량(mm)	640.4	+15.55	+97.3 608.1 → 705.4	-3.8 709.2 → 705.4	-64.3 705.4 → 641.1
	강수일수(일)	47.9	-0.60	-4.3 50.1 → 45.8	-0.9 46.7 → 45.8	-2.5 45.8 → 43.3
가을	강수량(mm)	268.5	+5.16	+33.9 242.3 → 276.2	-2.8 279.0 → 276.2	+31.8 276.2 → 308.0
	강수일수(일)	31.8	-0.76	-6.1 35.2 → 29.1	-0.2 29.3 → 29.1	+0.4 29.1 → 29.5
겨울	강수량(mm)	94.4	-0.65	-9.3 100.3 → 91.0	-0.9 91.9 → 91.0	+2.6 91.0 → 93.6
	강수일수(일)	29.9	-0.72	-6.5 33.5 → 27.0	-0.4 27.4 → 27.0	+1.0 27.0 → 28.0

3) 월별 강수 변화

지난 109년간 강수량은 7~8월에 크게 증가하며, 12~2월에 다소 감소하였다. 최근에는 10~12월에 증가하고 7~8월에 감소하였다.

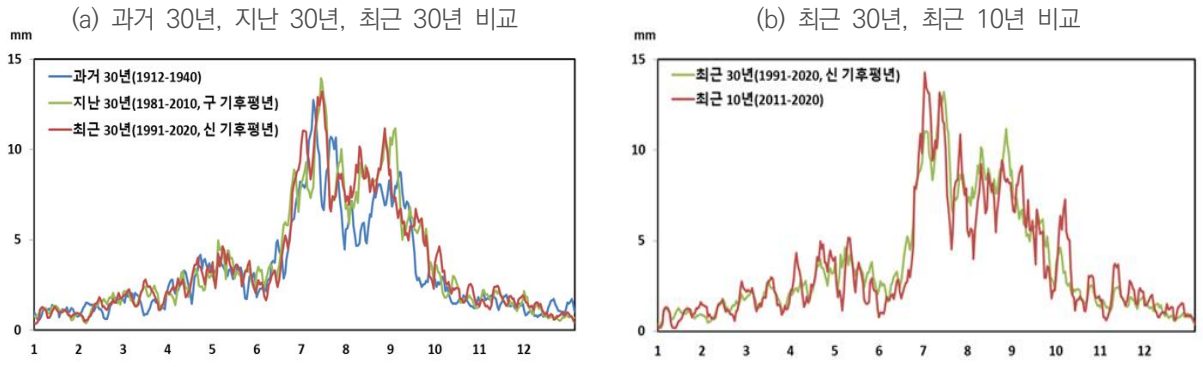
장기 기후변화

- 과거 30년 대비 최근 30년에 강수량은 8월에 66.7mm, 7월에 24.7mm 증가하고 3월, 9월, 10월에 10mm 이상 증가함
 - 12월에 강수량 감소폭이 가장 크고 1월과 2월, 4월에 다소 감소함
 - 과거 30년은 7월과 9월에 두 번의 강수 피크가 뚜렷하나, 최근 30년은 두 번의 피크 사이에 8월 초에 휴지기가 뚜렷하지 않음⁸⁾

최근 기후변화

- 지난 30년 대비 최근 30년 강수량은 4월, 7월, 10월에 증가하고 6월, 9월에 감소함
- 최근 30년 대비 최근 10년 강수량은 10~12월에 증가하고 5~9월에 감소함
 - 최근 10년, 7월 강수 피크는 비교적 강화되지만 여름에 전반적으로 강수량 감소 추세임

8) 여름철 두 번의 강수 피크 중 첫 번째는 강화, 두 번째는 기간이 길어지며, 휴지기는 감소(Roh et al., 2012)



[그림 II-23] 일 강수량의 연변화(5일 이동평균)

4) 강수 극한기후지수의 변화

지난 109년간 극한 강수의 발생 빈도가 증가하였고, 최근 극한 강수 발생 빈도는 감소하였다.

강수강도

- 강수량의 증가와 강수일수의 감소에 따라서 지난 109년간 매 10년당 +0.21로 뚜렷하게 증가함
 - 과거 30년 대비 최근 30년에 1.6mm/일 증가함
 - 지난 30년 대비 최근 30년에 변화 없음, 최근 30년 대비 최근 10년에 0.3mm/일 감소함

호우일수

- 지난 109년간 매 10년당 +0.08일로 유의미한 증가 추세를 보임
 - 과거 30년 대비 최근 30년에 0.6일 증가함
 - 지난 30년 대비 최근 30년에 변화 없음, 최근 30년 대비 최근 10년에 0.1일 감소함

1일 최다강수량

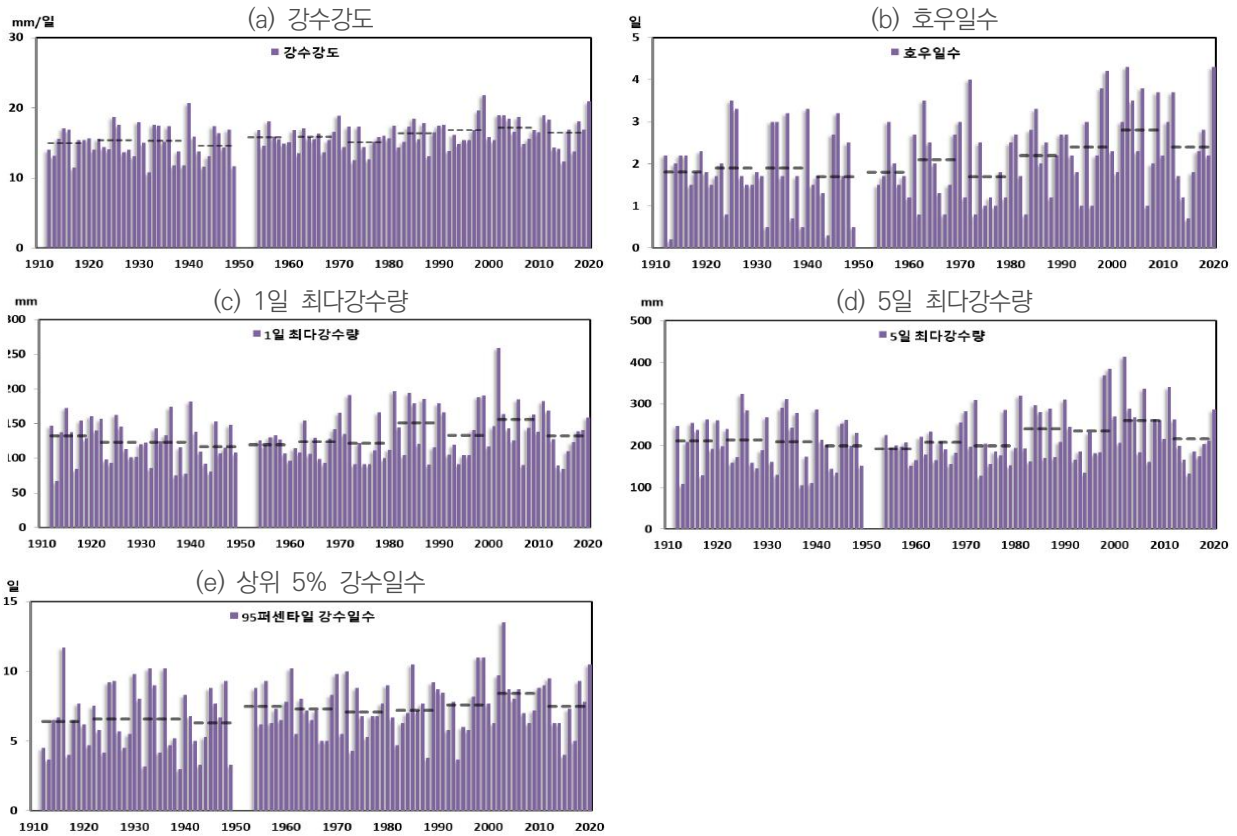
- 지난 109년간 매 10년당 +2.05mm로 뚜렷하게 증가함
 - 과거 30년 대비 최근 30년에 14.3mm 증가함
 - 지난 30년 대비 최근 30년에 4.2mm 감소, 최근 30년 대비 최근 10년에 7.9mm 급감함

5일 최다강수량

- 지난 109년간 매 10년당 +3.43mm로 증가 추세임
 - 과거 30년 대비 최근 30년에 25.8mm 증가함
 - 지난 30년 대비 최근 30년에 8.1mm 감소, 최근 30년 대비 최근 10년에 20.9mm 급감함

상위 5% 강수일수

- 지난 109년간 매 10년당 +0.16일로 뚜렷하게 증가함
 - 과거 30년 대비 최근 30년에 1.3일 증가함
 - 지난 30년 대비 최근 30년에 0.1일 증가, 최근 30년 대비 최근 10년에 0.3일 감소
- 지난 109년간 매 10년당 +0.16일로 뚜렷하게 증가함



[그림 II-24] 강수 극한기후지수의 변화(1912~2020년)

③ 우리나라 계절 변화

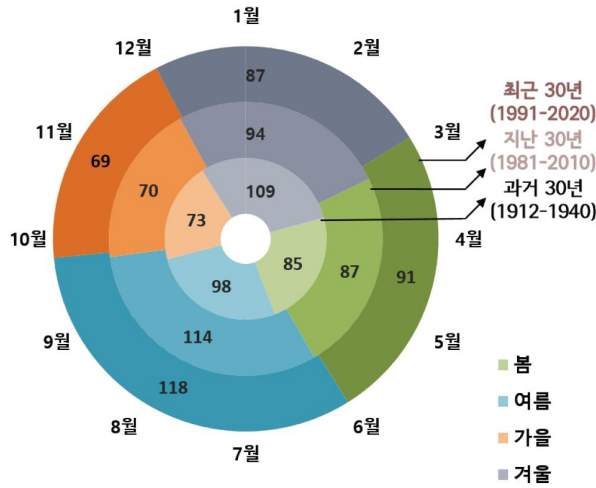
지난 109년간 여름은 길어지고 겨울은 짧아졌으며, 봄과 가을은 큰 변화가 없다.

장기 기후변화

- 봄과 여름 시작일은 각각 17일, 11일 빨라지고 가을과 겨울 시작일은 각각 9일, 5일 늦어짐
- 여름은 20일 길어지고 겨울은 22일 짧아지며, 봄과 가을은 큰 변화 없음
- 최근 30년 여름은 118일로 약 4개월간 지속되는 가장 긴 계절임
 - 가을은 69일로 가장 짧은 계절임
 - 과거 30년간 가장 긴 계절은 겨울(109일)임

최근 기후변화

- 봄과 여름 시작일은 각각 6일, 2일 빨라지고 가을 시작일은 2일 늦어짐
- 봄과 여름은 4일 길어지고, 그 외 계절은 다소 짧아짐
- 최근 30년 대비 최근 10년은 여름은 9일 길어짐
 - 여름이 길어짐에 따라 봄과 가을은 각각 4일, 5일 짧아짐



[그림 II-25] 우리나라 계절길이 변화

(과거 30년(1912~1940년: 안쪽), 지난 30년(1981~2010년: 중간), 최근 30년(1991~2020년: 바깥쪽))

<표 II-9> 과거 30년과 지난 30년, 최근 30년, 최근10년의 계절 시작일 변화(+ : 늦어짐, - : 빨라짐)

기간	봄	여름	가을	겨울
과거 30년 (1912~1940)	3월 18일	6월 11일	9월 17일	11월 29일
지난 30년 (1981~2010)	3월 7일	6월 2일	9월 24일	12월 3일
최근 30년 (1991~2020)	3월 1일	5월 31일	9월 26일	12월 4일
최근 10년 (2011~2020)	2월 27일	5월 25일	9월 29일	12월 2일
최근 30년-과거 30년	-17일	-11일	+9일	+5일
최근 30년-지난 30년	-6일	-2일	+2일	+1일
최근 10년-최근 30년	-2일	-6일	+3일	-2일

<표 II-10> 과거 30년과 지난 30년, 최근 30년, 최근 10년의 계절 지속기간 변화기간(+ : 늘어남, - : 짧아짐)

기간	봄	여름	가을	겨울
과거 30년 (1912~1940)	85일	98일	73일	109일
지난 30년 (1981~2010)	87일	114일	70일	94일
최근 30년 (1991~2020)	91일	118일	69일	87일
최근 10년 (2011~2020)	87일	127일	64일	87일
최근 30년-과거 30년	+6일	+20일	-4일	-22일
최근 30년-지난 30년	+4일	+4일	-1일	-7일
최근 10년-최근 30년	-4일	+9일	-5일	0일

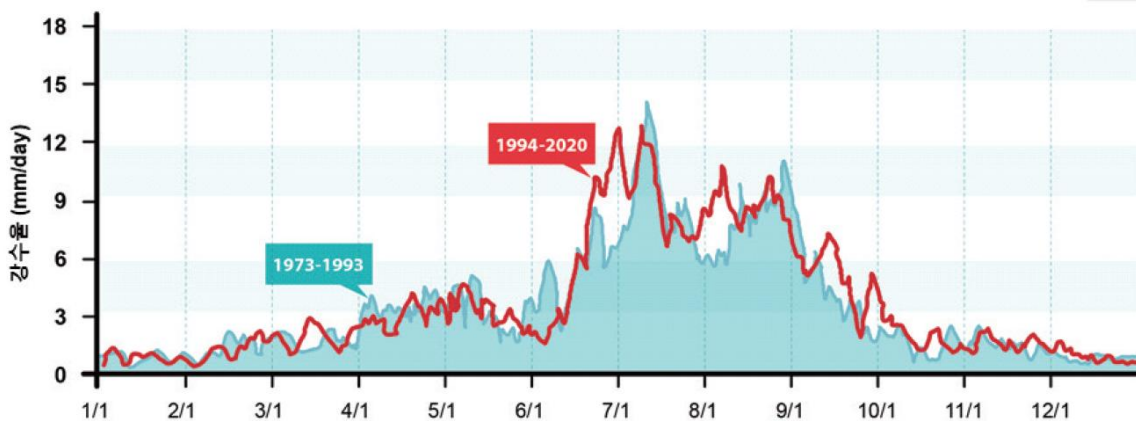
④ 우리나라 장마 특성

여름철 우리나라를 포함하는 동아시아 지역은 남쪽의 온난 습윤한 공기와 북쪽의 찬 공기가 만나서 정체 전선이 형성된다. 이 전선이 걸쳐 있는 지역에서는 강한 남서풍으로부터 습윤한 공기가 유입돼 장기간 많은 양의 비, 장마가 내리게 된다. 최근 30년 기후 평균으로 보면 우리나라 장마는 6월 19일 제주도에서 시작되며 남부지방에서는 6월 23일, 중부지방에서는 6월 25일 경 장마가 시작된다. 정체전선이 한반도 북쪽으로 북상하고 북태평양 고기압이 한반도를 덮게 되면 덥고 습한 여름 날씨를 보이게 된다. 이후 고기압 세력이 약해지고 정체전선이 다시 아래쪽으로 남하하면서 두 번째 강수 피크가 나타나며 약 9월 중순까지 앞선 장마 기간과는 또 다른 2차 우기를 겪게 된다.

<표 II-11> 기후평균(1991~2020년) 장마 시작, 종료, 지속기간 및 강수량

지역	시작일	종료일	지속기간(일)	강수일수(일)	강수량(mm) 평균과 범위
중부지방	6.25.	7.26.	31.5	17.7	378.3(103~856)
남부지방	6.23.	7.24.	31.4	17.0	341.1(84~647)
제주지방	6.19.	7.20.	32.4	17.5	348.7(99~629)

우리나라 여름철(6, 7, 8월) 평균 강수량은 600~900mm로 연강수량의 50~65%를 차지하고, 이중 장마 기간동안 평균 강수량은 300~500mm로 연강수량의 약 30%를 차지한다. 장마의 장기 변동성을 살펴보면 장마 시작전 건기인 6월 초순의 강수가 최근 감소였고 6월 하순부터 7월 초순까지의 강수는 증가하였다. 또한 2차 우기의 시작이 빨라지면서 장마와 2차 우기 사이의 건기가 짧아지고 2차 우기내의 강수도 2개의 최대치를 보이는 특징이 있다.



[그림 II-26] 1973~1993, 1994~2020년 56개 전국 관측소 평균 강수 시계열

최근 우리나라에 내리는 장마의 양상은 과거와 장마철 특징과는 다르게 국지성 호우의 형태로 같은 지역이라고 해도 비가 오는 지역과 오지 않는 지역이 뚜렷하며 강수량 차이도 많이 나는 특징 등이 있다. 장마의 경년 변동성은 기후변화 뿐만 아니라 기상 및 해양 조건, 다른 기단의 영향 등 다양한 요소에 의해 주기적으로 변동할 수 있다.

해양기상은 대기와 해양의 상호작용에 의해 복잡하게 발생하는 기상변화이다. 대기-해양 상호작용으로 풍랑, 태풍 등 단기적인 기상현상과 엘니뇨, 라니냐 등의 장기적인 기후현상이 발생하며 이는 태양에너지의 위도에 따른 불균형을 해소하기 위해 해양이 대기의 열을 흡수하거나 대기로 열을 방출하면서 에너지를 전지구적으로 분배한다. 해양은 대기에 비해 약 3,000배 정도에 달하는 열을 저장할 수 있어 지구의 온도를 조절하는 중요한 역할을 하므로 해양의 장기적인 변화를 분석하는 것이 기후변화를 이해하기 위해 매우 중요하다.

가. 전지구 및 지역 해양 기후변화 분석

① 평균 유의파고⁹⁾

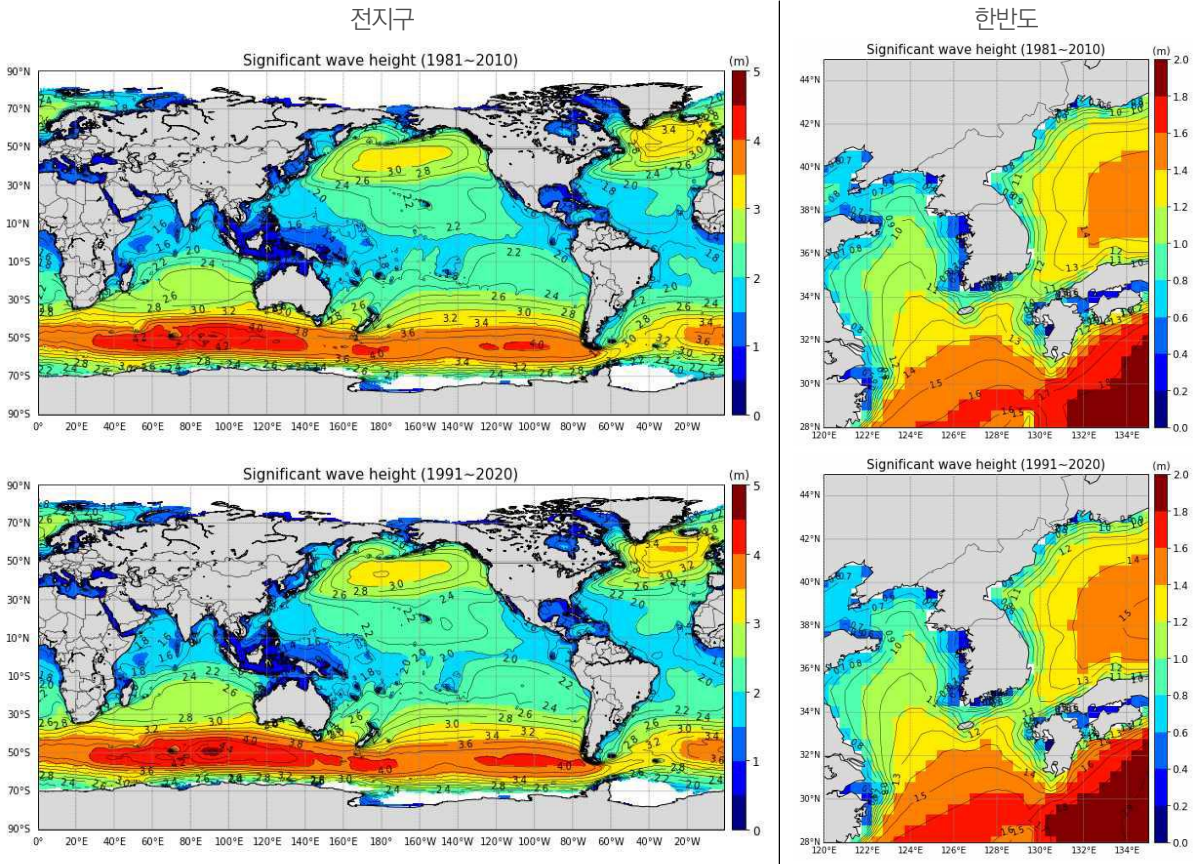
전지구 유의파고 장기 변화를 분석한 결과 상승하는 추세가 나타났으며 이러한 양상은 동아시아, 한반도 연근해에서도 나타났다. 사계절 모두 상승하는 추세를 나타냈고 연별, 계절별 모두 신평년(1991~2020년) 평균값이 구평년(1981~2010년) 평균값보다 높았다.

<표 II-12> 연/계절별 유의파고 추세 및 구/신평년값

		전지구	동아시아	한반도 연근해	
유의 파고	연평균	추세(m/year)	0.0016	0.0027	0.0019
		평년값 변화(m)	(2.35 → 2.39)	(2.04 → 2.08)	(1.22 → 1.25)
	봄	추세(m/year)	0.0025	0.0018	0.002
		평년값 변화(m)	(2.39 → 2.43)	(1.96 → 2.00)	(1.11 → 1.12)
	여름	추세(m/year)	0.0031	0.0021	0.001
		평년값 변화(m)	(2.34 → 2.39)	(1.45 → 1.49)	(1.01 → 1.03)
	가을	추세(m/year)	0.0028	0.0014	0.0028
		평년값 변화(m)	(2.32 → 2.36)	(2.08 → 2.12)	(1.27 → 1.31)
	겨울	추세(m/year)	0.0027	0.0051	0.0047
		평년값 변화(m)	(2.37 → 2.41)	(2.73 → 2.79)	(1.53 → 1.58)

9) 한 지점을 연속적으로 통과하는 파를 관측하였을 때 임의의 시간 또는 개수 중에서 높은 파고 순으로 3분의 1까지 파고를 합산하여 평균한 값임

- 구/신평년 유의파고의 공간적인 분포 양상을 살펴보면 우리나라 주변 동해와 남해에서 높은 유의파고가 분포하였으며 구평년 대비 신평년에 각 해역에서 전체적으로 상승한 양상을 보임



[그림 II-27] 전지구와 한반도 연근해의 구평년(위)과 신평년(아래) 평균 유의파고 공간분포도

- 평균 파고 상위 10위에는 전지구가 한 해, 한반도 주변은 여섯 해가 2010년 이후로 기록되면서 최근 10년간 전지구보다 한반도 바다에서 파고 상승 경향이 뚜렷하게 나타남

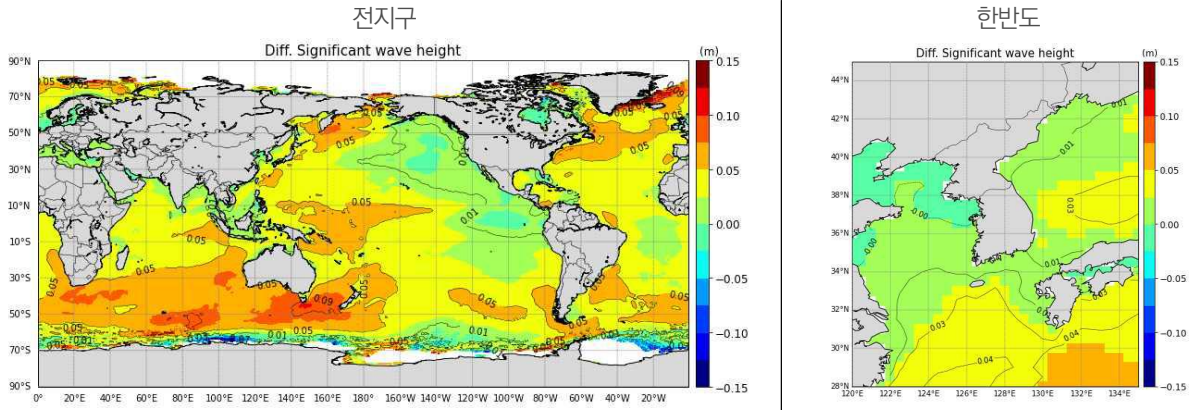
<표 II-13> 전지구 및 한반도 파고 상위 10위 연도

	1위	2위	3위	4위	5위	6위	7위	9위	10위
전지구	1998년	1997년	2001년	1995년	1994년	1993년	2015년	2000년	1999년
한반도	2012년	2005년	2018년	2011년	2010년	2004년	2002년	2015년	2014년



[그림 II-28] 전지구 유의파고(좌), 한반도 주변 유의파고(우) 상위 20순위(1981~2020년)

- 구평년과 신평년의 차이를 분석한 결과 구평년과 비교해 신평년의 파고가 높게 나타났으며 전 지구적으로 남반구에서 상승 경향이 뚜렷하며 한반도의 경우 남해에서 비교적 크게 상승한 것으로 나타남



[그림 II-29] 전지구와 한반도 연근해 유의파고의 신-구평년 간 차이 분포도

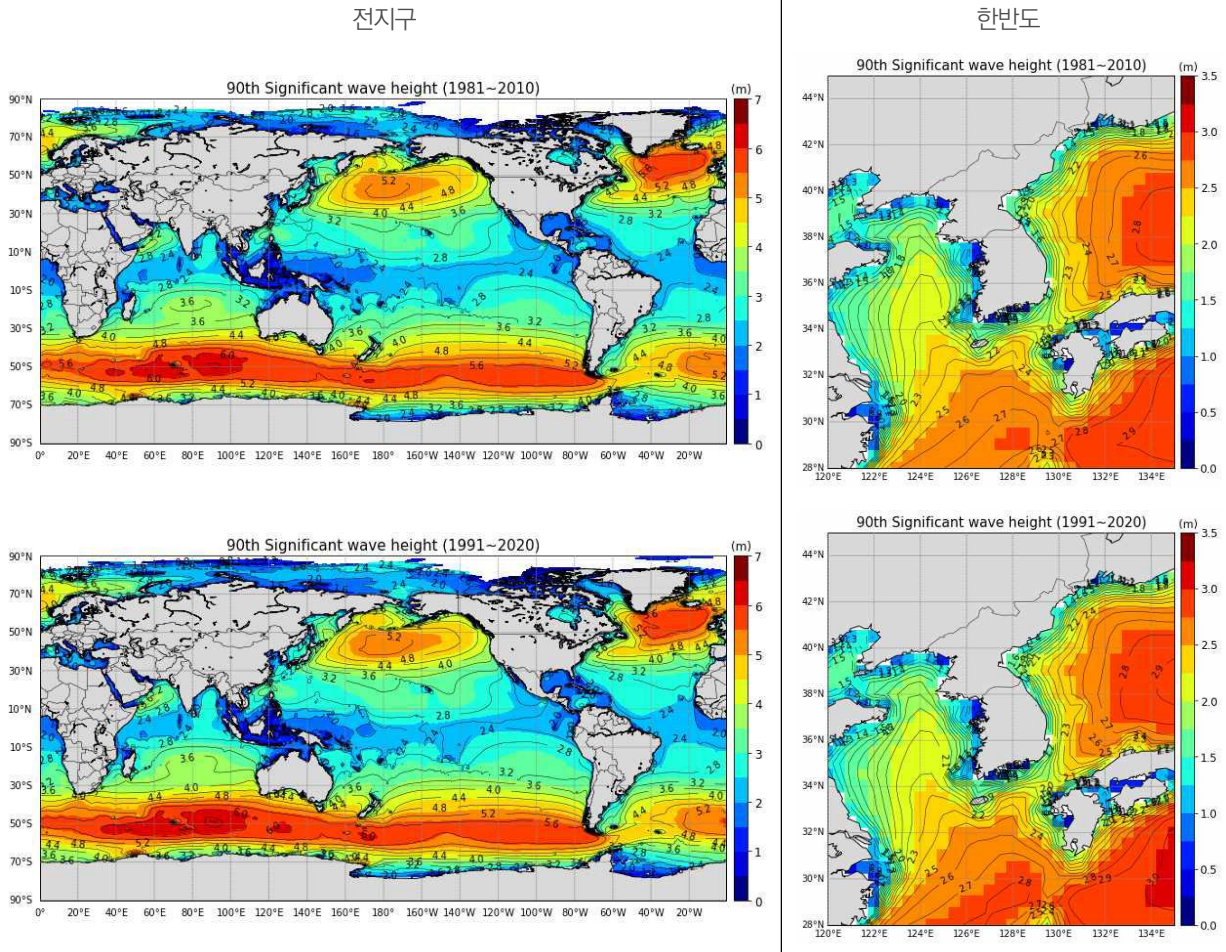
② 극한 유의파고

극한 유의파고란 분석기간 중 유의파고 상위 10%에 해당하는 값을 의미한다. 극한 유의파고는 평균 유의파고와 같이 전지구, 동아시아, 한반도 연근해 영역 모두 상승하는 추세이다. 각 분석 영역에서 계절별 변화율 및 평년값은 사계절 모두 상승 추세며, 신평년 값이 구평년값보다 높다. 평균 유의파고의 연/계절별 변화율보다 가파른 상승 추세를 나타낸다.

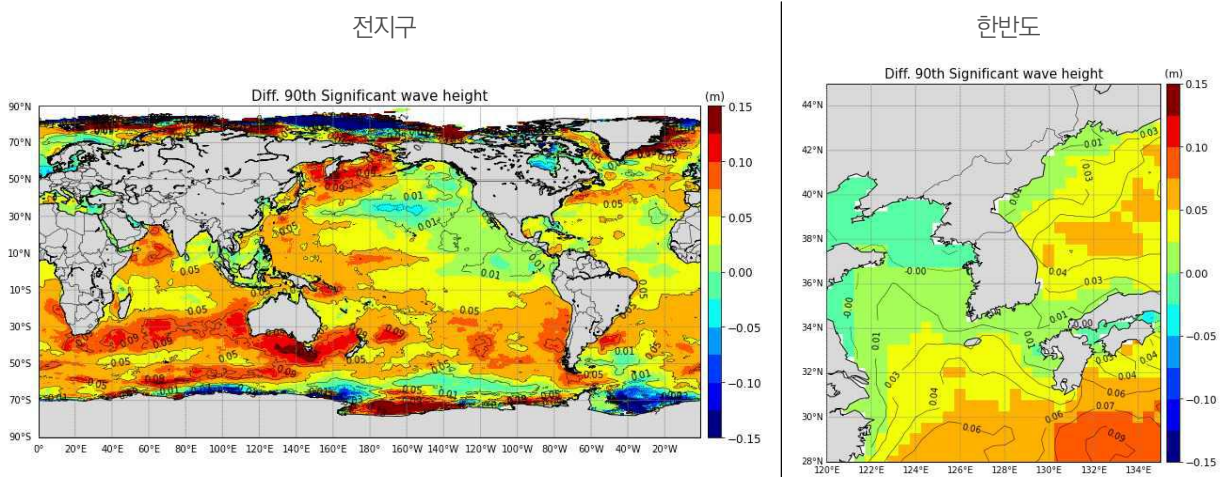
<표 II-14> 연/계절별 극한 유의파고 추세 및 구/신평년값

		전지구	동아시아	한반도 연근해	
극한 유의 파고	연평균	추세(m/year)	0.0039	0.0041	0.0028
		평년값 변화(m)	(3.38 → 3.43)	(3.28 → 3.33)	(2.18 → 2.21)
	봄	추세(m/year)	0.0036	0.0019	0.0032
		평년값 변화(m)	(3.33 → 3.36)	(2.98 → 2.99)	(1.89 → 1.91)
	여름	추세(m/year)	0.0041	0.0025	0.0014
		평년값 변화(m)	(3.21 → 3.25)	(2.11 → 2.16)	(1.69 → 1.72)
	가을	추세(m/year)	0.0040	0.0003	0.0034
		평년값 변화(m)	(3.27 → 3.31)	(3.21 → 3.24)	(2.25 → 2.30)
	겨울	추세(m/year)	0.0029	0.0065	0.0064
		평년값 변화(m)	(3.28 → 3.32)	(3.93 → 4.01)	(2.66 → 2.71)

- 구/신평년 공간분포도를 확인하면 북태평양 부근의 극한파고가 높게 나타나며, 편차 공간분포도에서도 북서태평양의 극한 유의파고가 상승함



[그림 II-30] 전지구와 한반도 연근해의 구평년(위)과 신평년(아래) 극한 유의파고 공간분포도



[그림 II-31] 전지구와 한반도 연근해 극한 유의파고의 신-구평년 간 차이 분포도

③ 평균 풍속

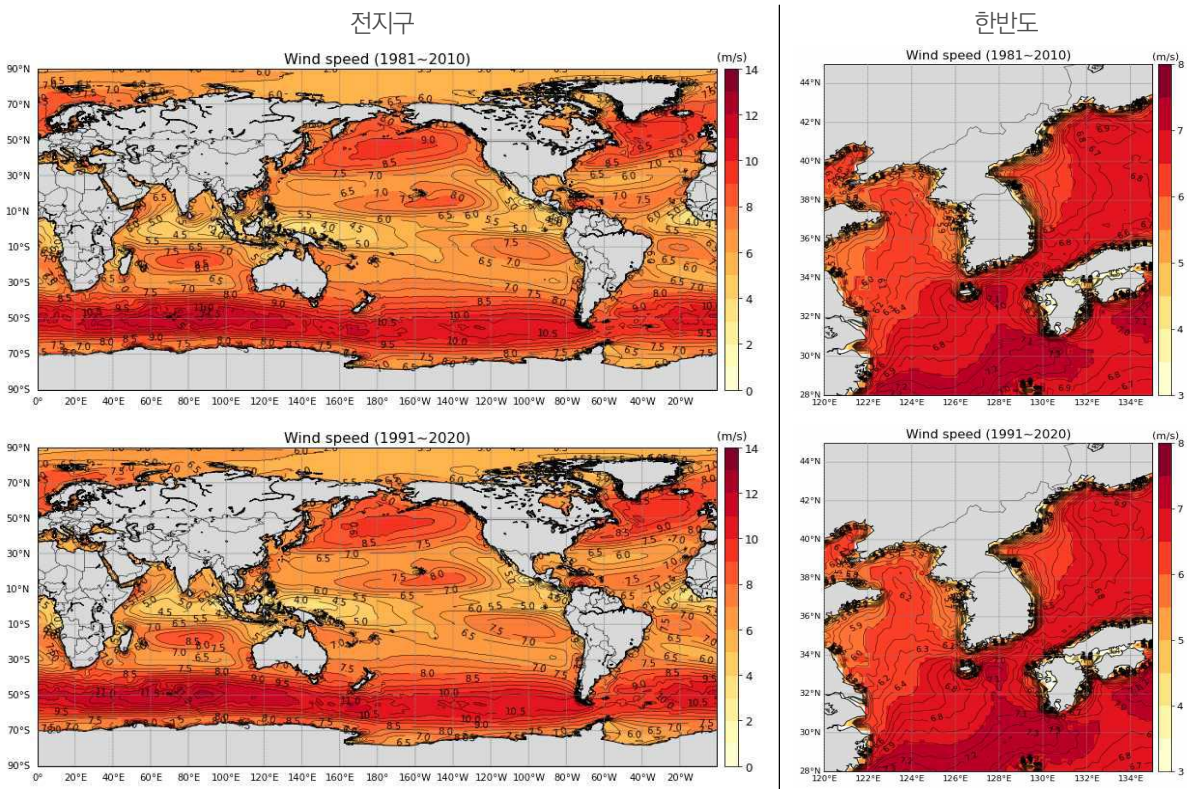
풍속은 전지구, 동아시아, 한반도 연근해 영역 모두 증가 추세이며 전지구에 비해 한반도 연근해, 동아시아 영역에서는 상대적으로 작은 증가 추세를 나타낸다.

계절별로 살펴보면 전지구에서는 모든 계절에서 증가하는 추세인 반면, 동아시아와 한반도 연근해에서는 계절별로 다른 결과가 나타난다. 특히 한반도 연근해에서는 여름에는 감소하고 봄, 가을, 겨울에는 증가하는 추세가 나타났고, 특히 겨울철에 한반도 연근해에서 풍속의 추세는 다른 영역 및 계절보다 가파른 증가 추세를 보인다.

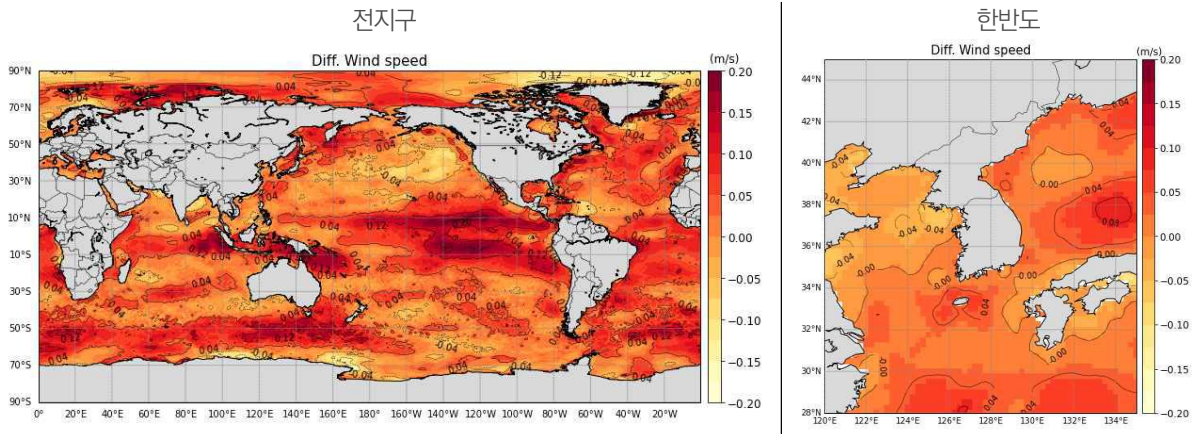
<표 II-15> 연/계절별 평균 풍속 추세 및 구/신평년값

		전지구	동아시아	한반도 연근해	
평균 풍속	연평균	추세(ms ⁻¹ /year)	0.0043	0.0006	0.0011
		평년값 변화(ms ⁻¹)	(7.24 → 7.28)	(7.15 → 7.16)	(6.38 → 6.39)
	봄	추세(ms ⁻¹ /year)	0.0037	-0.0007	0.003
		평년값 변화(ms ⁻¹)	(7.15 → 7.18)	(7.07 → 7.06)	(6.21 → 6.22)
	여름	추세(ms ⁻¹ /year)	0.0036	-0.0022	-0.0047
		평년값 변화(ms ⁻¹)	(7.34 → 7.38)	(5.87 → 5.85)	(5.54 → 5.51)
	가을	추세(ms ⁻¹ /year)	0.0046	-0.0017	0.0029
		평년값 변화(ms ⁻¹)	(7.24 → 7.27)	(7.17 → 7.18)	(6.39 → 6.45)
	겨울	추세(ms ⁻¹ /year)	0.0052	0.0058	0.0154
		평년값 변화(ms ⁻¹)	(7.24 → 7.29)	(8.62 → 8.71)	(7.35 → 7.49)

- 동아시아, 한반도 연근해 영역에서 구/신평년 풍속 공간분포도와 편차 공간분포도를 분석한 결과, 동중국해와 일본 남해에서 가장 큰 풍속이 분포하였으며 동중국해와 일본 남해, 우리나라 동해와 남해에서 다른 지역에 비해 큰 폭으로 증가하는 양상을 보임



[그림 II-32] 전지구와 한반도 연근해의 구평년(위)과 신평년(아래) 평균 풍속 공간분포도



[그림 II-33] 전지구와 한반도 연근해 평균 풍속의 신-구평년 간 차이 분포도

④ 극한 풍속

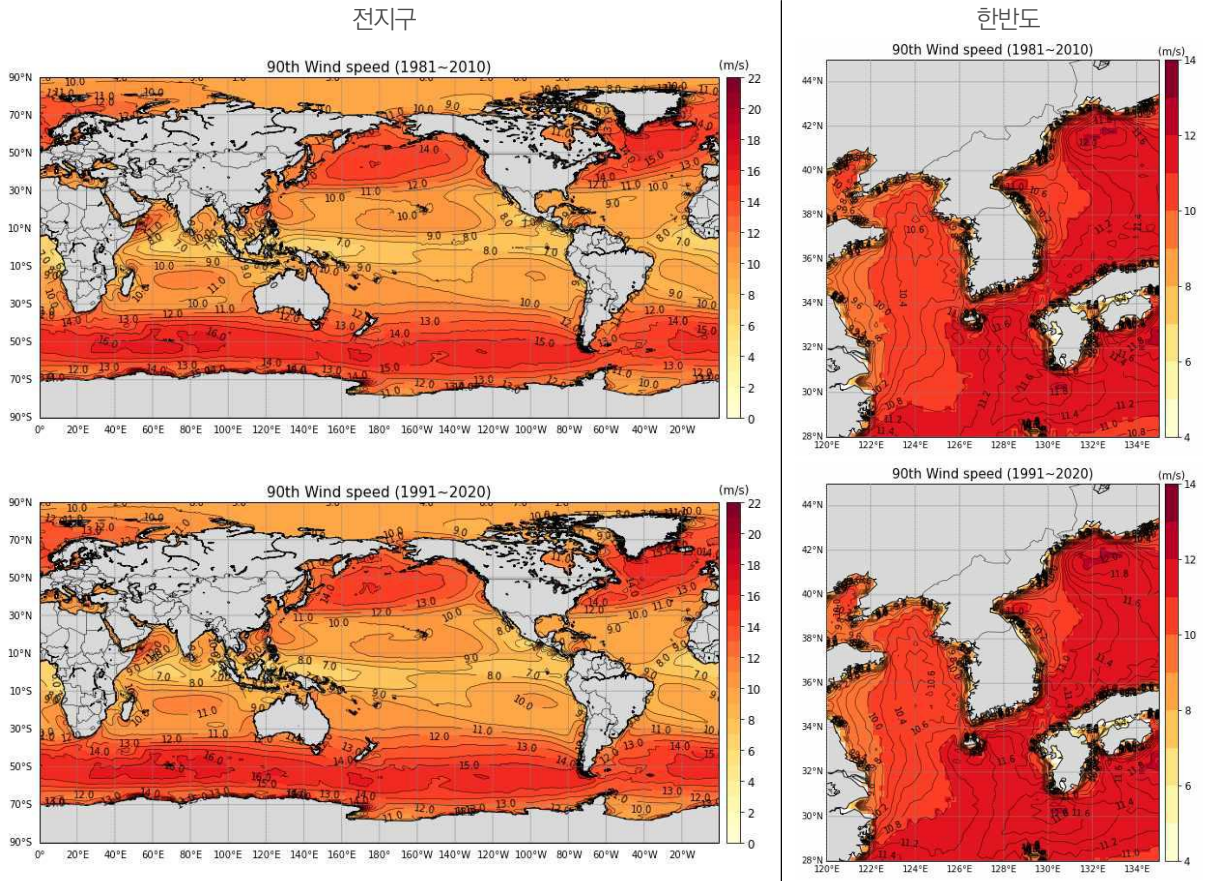
극한 풍속란 분석기간 중 평균 풍속 상위 10%에 해당하는 값을 의미한다. 극한 풍속은 전 지구적으로 증가하는 양상을 보였으며, 이러한 증가 양상은 동아시아, 한반도 연근해에서도 나타난다.

계절별로 살펴보면 전지구에서는 모든 계절에서 증가 추세가 나타난 반면, 동아시아와 한반도 연근해에서는 계절별로 다른 결과를 보였으며, 특히 한반도 연근해에서 여름에 감소하고 봄, 가을, 겨울에 증가하는 추세이다. 또한 평균 풍속과 같이 겨울철 한반도 연근해에서의 극한 풍속의 추세가 다른 영역 및 계절보다 가파른 증가 추세를 보인다.

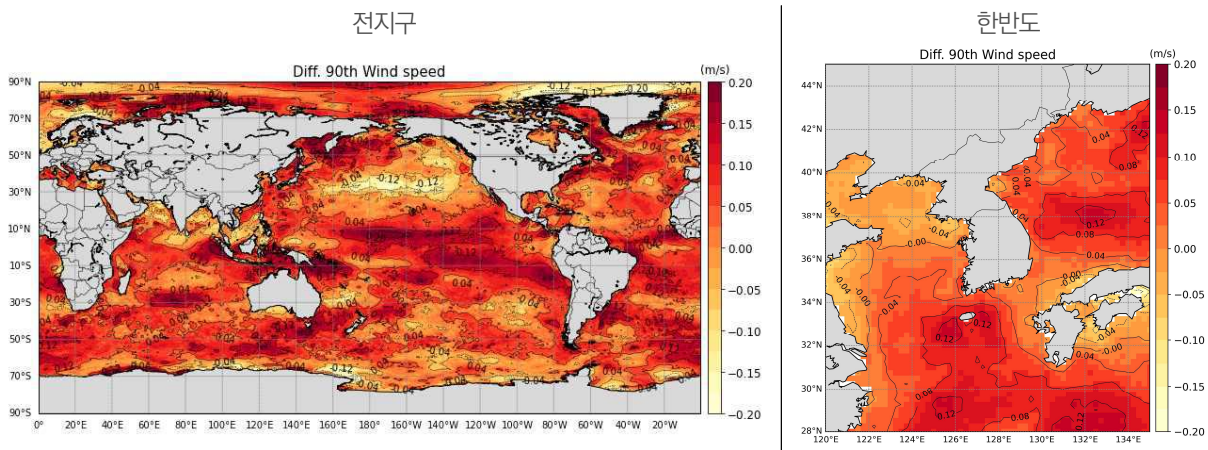
<표 II-16> 연/계절별 극한 풍속 추세 및 구/신평년값

		전지구	동아시아	한반도 연근해	
극한 풍속	연평균	추세($\text{ms}^{-1}/\text{year}$)	0.0055	0.0027	0.0037
		평년값 변화(ms^{-1})	(10.99 → 11.04)	(11.39 → 11.43)	(10.58 → 10.63)
	봄	추세($\text{ms}^{-1}/\text{year}$)	0.0047	0.0013	0.0079
		평년값 변화(ms^{-1})	(10.75 → 10.78)	(10.84 → 10.84)	(10.11 → 10.16)
	여름	추세($\text{ms}^{-1}/\text{year}$)	0.005	-0.0031	-0.0066
		평년값 변화(ms^{-1})	(10.81 → 10.86)	(9.17 → 9.16)	(9.12 → 9.09)
	가을	추세($\text{ms}^{-1}/\text{year}$)	0.0062	-0.0037	0.0034
		평년값 변화(ms^{-1})	(10.86 → 10.92)	(11.27 → 11.27)	(10.59 → 10.65)
	겨울	추세($\text{ms}^{-1}/\text{year}$)	0.0059	0.0087	0.0155
		평년값 변화(ms^{-1})	(10.78 → 10.84)	(12.58 → 12.70)	(11.70 → 11.83)

- 한반도 주변에서의 구/신평년 극한 공간분포도와 편차 공간분포도를 분석한 결과 평균 풍속과 분포 양상이 유사함. 연/계절별로 지역에 따라 분포 양상이 달랐지만 주로 동중국해 및 일본 남해, 우리나라 동해와 남해가 다른 지역에 비해 풍속이 크고 증가하는 양상이 뚜렷함



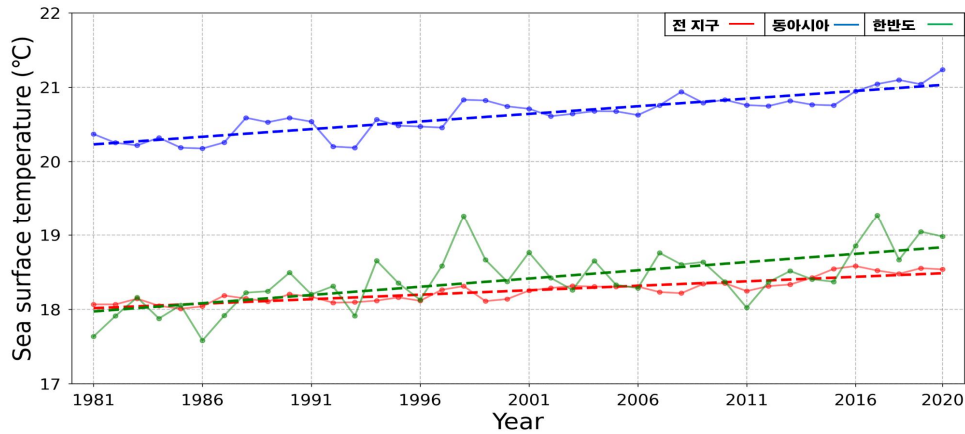
[그림 II-34] 전지구와 한반도 연근해의 구평년(위)과 신평년(아래) 극한 풍속 공간분포도



[그림 II-35] 전지구와 한반도 연근해 극한 풍속의 신-구평년 간 차이 분포도

⑤ 해수면 온도

해수면 온도의 변동 양상을 분석한 결과 전 지구적으로 발생하고 있는 수온 상승 현상이 동아시아 및 한반도 연근해에서도 나타난다. 분석 영역별로 연별/계절별 모두 상승 추세이며 신평년 해수면 온도가 구평년보다 높다. 한반도 연근해 영역의 상승 추세가 연별/계절별 모두 전지구, 동아시아보다 가파른 상승세를 나타낸다.



[그림 II-36] 연별 분석 영역별 해수면 온도 추세(1981~2020년)

<표 II-17> 해역/계절별 해수면 온도 추세 및 구/신평년값

		전지구	동아시아	한반도 연근해	
해수 면 온도	연평균	추세(°C/year)	0.012	0.0205	0.0221
		평년값 변화(°C)	(18.18 → 18.30)	(20.54 → 20.73)	(18.32 → 18.53)
	봄	추세(°C/year)	0.0112	0.0156	0.018
		평년값 변화(°C)	(18.24 → 18.35)	(18.37 → 18.51)	(14.17 → 14.36)
	여름	추세(°C/year)	0.0142	0.0247	0.0230
		평년값 변화(°C)	(18.27 → 18.41)	(23.07 → 23.31)	(23.89 → 24.12)
	가을	추세(°C/year)	0.0125	0.0236	0.0245
		평년값 변화(°C)	(18.11 → 18.23)	(22.60 → 22.81)	(21.90 → 22.10)
	겨울	추세(°C/year)	0.01	0.0185	0.0216
		평년값 변화(°C)	(18.11 → 18.21)	(18.12 → 18.29)	(13.34 → 13.56)

- 지난 40년간 전지구 및 한반도 주변 바다의 수온이 지속적으로 상승하였으며, 특히 2010년 이후 상승 경향이 뚜렷함. 특히, 지난 40년간 연도별 평균 수온이 가장 높았던 상위 10위에 전 지구는 여덟 해, 한반도 주변은 다섯 해가 2010년 이후로 기록되면서 수온 상승이 최근 들어 뚜렷하게 나타남

<표 II-18> 전지구 및 한반도 수온 상위 10위 연도

	1위	2위	3위	4위	5위	6위	7위	9위	10위
전지구	2016년	2019년	2020년	2015년	2017년	2018년	2014년	2010년	2009년
한반도	2017년	1998년	2019년	2020년	2016년	2007년	2001년	2018년	1999년

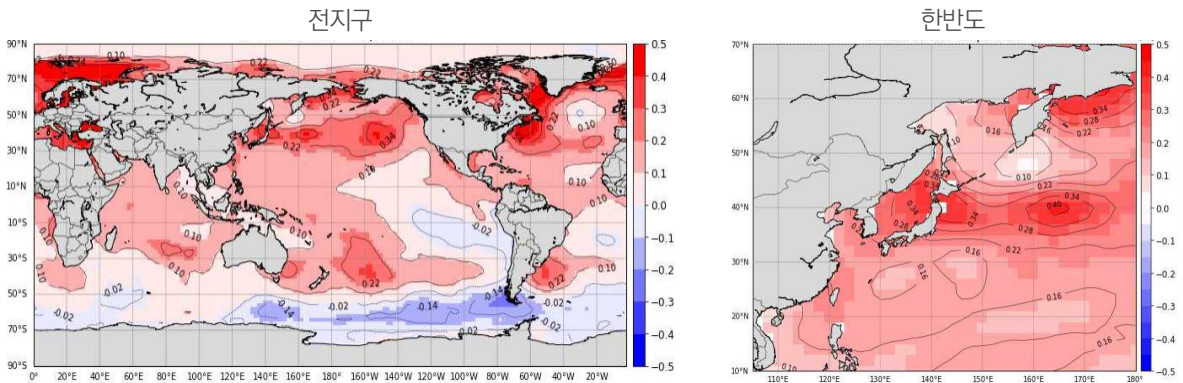


[그림 II-37] 전지구 수온(좌), 한반도 주변 수온(우) 상위 20순위(1981~2020년)

- 구평년과 비교해 신평년의 수온과 파고가 모두 높게 나타났으며 특히 수온은 전지구보다 한반도 바다에서 2배 가까운 상승 경향을 보임

	전지구	한반도 연근해
해수면 온도 평년값 변화(°C)	+0.12 (18.18 → 18.30)	+0.21 (18.32 → 18.53)


- 전 지구적으로 북반구에서 상승 경향이 뚜렷하며 한반도의 경우 수온은 동해에서 비교적 크게 상승한 것으로 나타남



[그림 II-38] 전지구와 한반도 해수면 온도의 신-구평년 간 차이 분포도

연 기후특성 보고서

- 내용: 폭염, 폭우, 한파 등 이상기후가 빈번히 나타나는 기후위기 시대에 맞춰 전지구와 우리나라의 기후이슈 분석, 북극 해빙면적·전지구 해수면 온도 변화 등 기후감시요소 간의 상호 연계성을 바탕으로 매 해 기후특성을 분석
- 제공시기: 연 1회(2월)
- 제공경로: 기후정보포털(<http://climate.go.kr>) > 열린마당 > 발간물 > 기타



발간 등록번호: 11-136000-001514-10

2022 연 기후특성 보고서

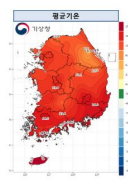
기상청 Korea Meteorological Administration

제3장 우리나라 기후특성

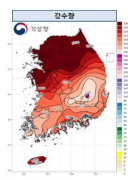
3.1. 2022년 기후특성

3.1.1. 2022년 기온과 강수량

- 한반도계 지역*의 2022년 평균기온은 12.9°C로 평년보다 0.4°C 높았으며, 1973년 이후 연평균 1번째, 2016년 13.4°C로 높은 평균기온을 기록하였다.
- 한국 강수량은 1,150.4mm로 평년(1,193.2~1,444.0mm)보다 적었으며, 1973년 이후 3번째 낮은 2003년 1,282.0mm를 기록하였다.



평균기온



강수량

2022년 전국 평균기온은 12.9°C로 평년보다 0.4°C 높아 1973년 이후 9번째로 높았으며, 최근 50년(2017년, 2018년 제외)이 상위 10위 안으로 기록되는 온난해 경향을 이어갔다(그림 3.1.2.). 지역적으로 제주도 북부와 강원동 중부, 충북 서부 일부 지역 중심으로 기온이 평년보다 0.8°C 정도로 높은 분포를 보였다(그림 3.1.1. 왼쪽).

계절별로는 봄(1월, 2월)과 가을(9월, 10월)이 10위 안으로 기록되어 높은 기온 현상이 나타났다.

2022년 한 해 동안 전국 강수량은 1,150.4mm로 평년(1,193.2~1,444.0mm)보다 적었다. 지역적으로는 서울·인천·강릉·강원서부 등 일부 지역을 제외하고는 강수량이 평년과 비슷하거나 적었다(그림 3.1.1. 오른쪽).

발발로는 3, 6, 10, 11월이 평년값보다 많았던 반면, 1~2월과 4~5월, 7월은 적었다. 특히, 1월과 5월은 역대 하위 1위, 2월은 하위 2위를 기록하며, 평년보다 적은 양수량 현상이 나타났다(그림 3.1.4., 표 3.1.2.).

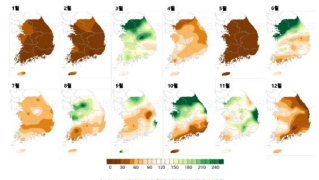



표 3.1.2. 우리나라 월강수량(mm), 평년(이하) 및 1973년 이후 순위

월	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월	연평균
평균강수량	52.0	55.0	62.0	68.0	78.0	102.0	152.0	172.0	142.0	72.0	62.0	52.0	79.4
평년(이하)	49.8	52.8	54.2	61	70.7	106.1	156.3	172.4	124.4	61.1	51.1	46.7	
순위(이하)	50	49	48	38	35	15	1	1	2	1	1	3	

2022년에는 총 25개의 태풍이 발생하였고, 이 중 단계복소 예외인 제5호 송다, 제8호 트라세, 제1호 찬노스, 제14호 난립등기 영향을 주어 우리나라는 평년보다 적은 양수량 현상이 발생하였다. 제5호 송다와 제8호 트라세는 우리나라 서해와 남해에서 영향을 주면서 제주도와 남해안을 중심으로 영향을 주었고, 제1호 찬노스는 호남권 태풍으로 발달, 기해 부근으로 상륙하여 강한 바람과 함께 매우 많은 비가 내렸다.

이상기후 보고서

- 내용: 이상기후에 대한 영향을 분석하고, 정부차원의 효과적인 대응방안 마련을 위하여 범부처 합동(국무조정실·기상청 공동주관, 농림축산식품부, 환경부 등 24개 기관 참여)하여 매년 발간하며, 이상기후 관련 정책 수립을 위한 근거 및 홍보 자료로 활용
- 제공시기: 연 1회(3월)
- 제공경로: 기후정보포털(<http://climate.go.kr>) > 열린마당 > 발간물 > 이상기후보고서



발간 등록번호: 11-136000-001109-10

2022년 이상기후 보고서

관계부처합동

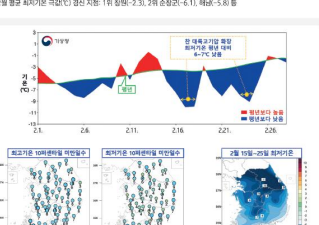
제2장 2022년 이상기후 발생현황 및 분석

1.3. (이상저온) 강추위가 지속된 2월, 가을철 이른 추위, 초겨울 강한 한파

2월 중순~하순에는 강추위가 지속되었고, 10월 중순 이후 추위로 평년보다 빠른 첫서리와 첫눈이 관측되었으며, 12월은 강한 한파와 눈이 잦았음

◇ 강추위가 지속된 2월

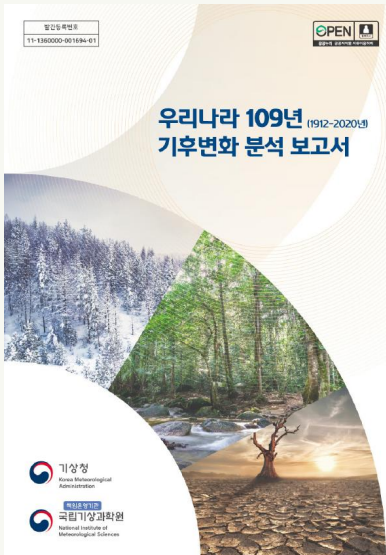
- (현황) 2월 중순 이후로 21/22년 겨울철철로 가장 추운 날씨가 약 1월(21일) 이후였음. 2월 전국 평균기온은 -2.0°C(평년 2.0°C)로 역대 하위 2위, 최고기온과 최저기온은 각각 2.1°C, -7.1°C(평년 -3.3°C)로 모두 하위 3위를 기록하였음(그림 2-1~8)
- 이 기간의 이상저온 발생일수는 2월 전체 발생일수의 대부분을 차지하며, 서울, 인천, 광주 등 수도권 인근에서 많이 발생하였음
- ※ 2월 평균 최저기온(국립기상연구원) 관측 지점 1위(평년:-2.3), 2위(평년:-6.1), 6위:-5.0 등



2월 월별 기온 변화 그래프: 2월 15일~25일 최저기온 분포도

우리나라 109년 기후변화 분석 보고서(2021년)

- 내용: 우리나라 과거(1912~2020년) 기후변화 추세를 분석하기 위해, 100년 이상의 관측자료를 보유한 6개 지점 (강릉, 서울, 인천, 대구, 부산, 목포)의 관측자료로 기후요소 5종(일 평균·최고·최저기온, 일 강수량, 강수일수)과 극한기후지수 28종(폭염·열대야·한파·호우일수 등)에 대해 통계분석(월·절기·계절·연도별)한 자료를 제공
- 제공시기: 단행본
- 제공경로: 기후정보포털(<http://climate.go.kr>) > 열린마당 > 발간물 > 기후변화 시나리오



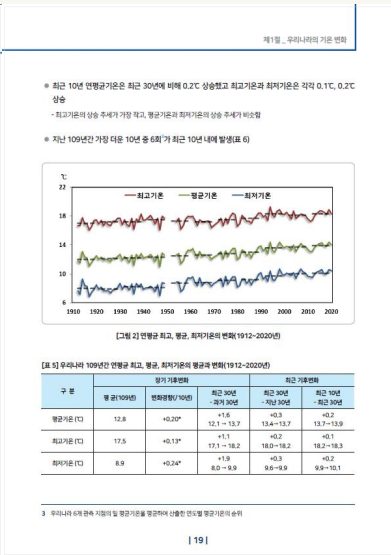
제1절 우리나라의 기온 변화

1. 연평균기온 변화

- 지난 109년간 우리나라의 기온은 꾸준히 상승하며, 특히 최저기온의 상승이 뚜렷하다. 최근의 최저기온의 상승이 일체
- 장기 기후변화
 - 지난 109년간 연평균기온은 약 10.9도 상승 (그림 2, 표 5)
 - 연평균 일 최고·최저기온은 약 10.9도 각각 0.13°C, 0.24°C 상승
 - 최근 30년 연평균기온은 과거 30년에 비해 1.6°C 상승했고 최고기온과 최저기온은 각각 1.1°C, 1.9°C 상승
 - 최근 기후변화
 - 최근 30년 연평균기온은 지난 30년에 비해 0.3°C 상승했고 최고기온과 최저기온은 각각 0.2°C, 0.3°C 상승
 - 최고기온의 상승 추세가 가장 빠르고, 평균기온과 최저기온의 상승 추세가 비슷함

2. 기온변화 연구 사례

- 약 100년(1912~2000)에 걸쳐 기온이 <1.17°C(0.95도) 상승 (연평균상승량, 2009년)
- 지난 40년(1981~2020)에는 <0.27°C(0.27도) 상승 (연평균상승량, 2020년)
- 최근 30년(1993~2020)에는 <0.27°C(0.27도) 상승 (연평균상승량, 2021년)
- 우리나라의 기온 상승은 도시화 효과와 자외선 비추름 시간 증가(1912~2014)를 포함하여 3~11%, 최근 40년(1973~2014)엔 평균 약 30~40% (Park et al., 2017)
- 지난 109년간(1912~2020) 우리나라 연평균기온은 약 10.9도(약 1.9도/100년) 상승



월간 기후분석정보

- 내용: 기후정보에 대한 대국민 관심도 제고를 위해 전지구 및 우리나라 월간 기후 동향 및 기후요소 비교, 전 세계 기상재해, 기후감시정보 등의 정보를 제공
- 제공시기: 월 1회(매월 5일경)
- 제공경로: 기상청 누리집(<http://kma.go.kr>) > 자료실 > 기상간행물 > 기후정보포털(<http://climate.go.kr>) > 열린마당 > 발간물 > 기타

기후분석정보

7월 기후 동향

기온

7월 기온 사계절

7월 평균기온은 25.5°C로 평년(24.6°C)보다 0.9°C 높았습니다.

- 7월 상순과 후순에는 강한 일사와 남서풍의 의해 고온이 나타났으며, 7월 중순에는 정체전선상에서 내리는 강수로 인해 최고기온은 평년보다 낮았습니다. 남서풍이 불면서 기온이 차가 내려가 최저기온은 평년보다 높았습니다.

강수량

7월 평균강수량은 25.5°C로 평년(24.6°C)보다 0.9°C 높았습니다.

7월 상순과 후순에는 강한 일사와 남서풍의 의해 고온이 나타났으며, 7월 중순에는 정체전선상에서 내리는 강수로 인해 최고기온은 평년보다 낮았습니다. 남서풍이 불면서 기온이 차가 내려가 최저기온은 평년보다 높았습니다.

기온 관련 강수량 소위비 (1973년 이후 전국평균)

구분	2021년 7월	2020년 7월	2019년 7월	2018년 7월	2017년 7월
평균기온	25.5	24.6	+0.9	12.8	12.8
평균최고기온	29.6	28.9	+0.7	16.6	16.6
평균최저기온	22.4	21.2	+1.2	9.0	9.0

* 통계기간: 1973년 1월 1일부터 현재까지의 관측된 연도 48년(1973~1980년 8년 제외) 1980~2020년 41년
* 단행본: 1991~2020년 30년

기후분석정보 2023년 7월호

7월 기후 동향

강수량

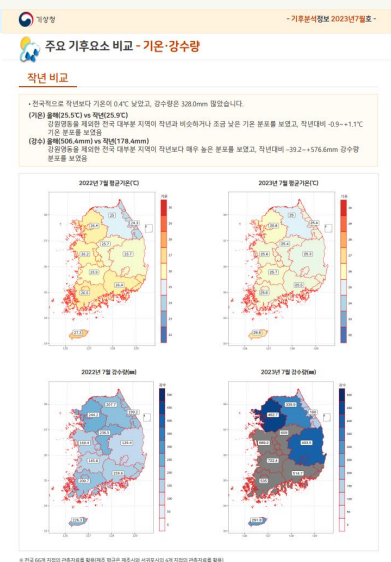
7월 평균강수량은 25.5°C로 평년(24.6°C)보다 0.9°C 높았습니다.

7월 상순과 후순에는 강한 일사와 남서풍의 의해 고온이 나타났으며, 7월 중순에는 정체전선상에서 내리는 강수로 인해 최고기온은 평년보다 낮았습니다. 남서풍이 불면서 기온이 차가 내려가 최저기온은 평년보다 높았습니다.

기온 관련 강수량 소위비 (1973년 이후 전국평균)

구분	2021년 7월	2020년 7월	2019년 7월	2018년 7월	2017년 7월
평균기온	25.5	24.6	+0.9	12.8	12.8
평균최고기온	29.6	28.9	+0.7	16.6	16.6
평균최저기온	22.4	21.2	+1.2	9.0	9.0

* 통계기간: 1973년 1월 1일부터 현재까지의 관측된 연도 48년(1973~1980년 8년 제외) 1980~2020년 41년
* 단행본: 1991~2020년 30년



해양기후 분석 보고서(2021년)

- 내용: 해양기상 요소의 40년간의(1981~2020년) 장기 변동추세와 구/신평년 특성을 전지구와 동아시아, 한반도 연근해로 나누어 연/계절별로 분석하고 2011년부터 2020년까지 해양기상부이에서 관측된 자료를 이용해 한반도 주변 해역에서 연/계절별로 나타나는 추세를 분석
- 제공시기: 단행본
- 제공경로: 기후정보포털(<http://climate.go.kr>) > 열린마당 > 발간물 > 기타

제2장 해양기상 요소 장기 변화 분석

제1절 연평균 해양기후 변화

1. 평균/극한 유의파고

가. 평균 유의파고

(1) 전 지구

전 지구의 유의파고 변동 양상을 이해하기 위해 연별 시계열 자료를 산출하였다. 구평년(1981~2010년) 및 신평년(1991~2020년) 유의파고 공간분포도를 산출하여 분포양상을 비교하였 으며 신평년의 30년 평균값에서 구평년 30년 평균값을 뺀 편차 분포도를 산출해 지역별로 발생한 3개월 정격으로 유의파고의 증감 양상을 파악하였다. 구/신평년 유의파고 편차 분포도를 산출하여 신평년 기준 편차의 변화 양상을 파악하였다.

시계열 그림은 전 지구 1981년부터 2020년까지 연별 유의파고 경향을 산출한 결과로 상승 및 하락 변동상을 나타내면서 상승하는 양상을 나타내었다. 그래프의 빨간색 실선은 추세선으로 상승 추세를 나타내며 있으며, 변화율은 0.0011m/year 산출되었다. 두 개의 검은색 직각 구평년과 신 평년 평균값을 의미한다. 구/신평년 평균값의 편차를 산출한 결과 구평년값은 2.35m, 신평년값은 2.38m 편차는 0.03m가 산출되어 구평년보다 신평년 유의파고값이 높은 값을 나타내었다.

<그림 1-1-1> 연별 전 지구 유의파고 평균값 추세 (1981~2020년)

제1장 해양기상 요소 장기 변화 분석

구평년과 신평년 기간의 극한 유의파고 공간분포도를 산출한 결과는 아래 그림과 같다. 구 평년 기간에 극한 유의파고의 공간분포도를 통해 실제적인 분포 양상은 평균 유의파고 분포도와 유사하 였지만 공간적으로 파고의 크기에 따라 차이가 나타났다.

구 평년 기간 분포도 모두 가장 높은 극한 유의파고의 발생한 지역은 일본 남해역으로 23°N~27°N, 경도 130°E~135°E로 약 2~3.0m 이하 분포를 나타내었다. 우리나라 동해역에서 약 2~3m인 유의 파고의 분포역으로 서해에는 약 1.5~2.5m인 파고가 분포하였다.

구평년과 신평년 극한 유의파고 공간분포도를 비교한 결과 분포 특성은 유사하였으나 구평년과 비교해 신평년에 파고 상승에 따른 파고 크기 분포 범위에서 다른 양상을 보였다. 가장 뚜렷한 변동 양상이 나타난 지역은 동중국해와 일본 남해(위도 23°N~27°N)로 구평년보다 약 2.7m 이상인 파고 분포 범위가 넓은 지역이 많이 상승하였다. 그 중 구평년에 가장 높은 극한 유의파고의 분포역었던 일본 남해 지역에서 파고가 상승하여 약 2.8~3.0m 분포를 나타내었다. 동해에서도 파고가 상승하였 으며, 특히 동양부를 중심으로 최대 편차에서 상승한 양상을 나타내었다. 남해에서는 제주도 남부 지역에서 실제적으로 파고가 상승한 양상을 보였다. 서해에서도 구평년보다 파고 상승한 양상을 보였으나, 동해와 남해에 비해 작은 변동 특성을 나타내며 뚜렷한 변동 양상이 나타나지 않았다.

<그림 1-1-2> 1981~2010년 연도별 연도별 구평년(좌) 및 신평년(우) 극한 유의파고 공간분포도

월간 해양 기상·기후정보

- 내용: 월별, 해역별 해양기상특성 분석정보뿐만 아니라, 해양경찰청, 국립수산물학원, 국립해양조사원, 중앙해양 안전심판원의 협조를 통해 조석정보, 안전정보(해상조난사고, 해양사고), 어업정보를 함께 제공. 최근 5년과 지난해의 전월, 당월에 대한 해양기상관측 통계 분석 정보와 올해 당월의 예측 정보 등 제공
- 제공시기: 월 1회(매월 5일경)
- 제공경로: 기상청 누리집(<http://kma.go.kr>) > 자료실 > 기상간행물

유의파고 관측 및 예측 시계열

< 유의파고 최근 5년(18~22년) 및 23년 7월(7.1~7.30) 관측과 8월 예측 >

- ✓ 유의파고는 해양기상부이와 파고부이에서 관측을 일 평균 유의파고를 사용하였으며, 최근 5년(—)은 18~22년 관측치의 일 평균, 지난해(—)은 23년 7월(1일~30일) 관측치의 일 평균
- ✓ 파고 예측은 수치모델에서 산출된 해역별 평균 예측값으로, 범위를 표출함
 - ※ 파고 구간값: 낮음(1m 미만), 약간(1~2m), 보통(2~3m), 매우(3m 이상)
- ✓ 파고 예측정보는 해역별 평균 예측값으로 실제 관측값과 차이가 있을 수 있음

해역	연하	연상
서해중부	과도도, 일탄	연도, 지천, 삼기, 아리, 좌도, 서산, 복이, 연도, 울릉도
서해남부	필림도, 부인, 평포, 영남, 평포도, 거문도, 추자도(부이), 추자도(파고부이)	천도, 정동, 곤산, 태사도, 마포도, 사산, 낙포, 풍포도, 위도
남해서부	기제도, 불령	남포도, 금포도, 고포, 노포도, 나포도
남해중부	울릉도, 동해, 독도, 평포, 구포, 울릉, 울릉서부	연의, 도산, 영남
동해남부	보령, 울진, 울진서, 울진남	곡포, 구룡포, 후포, 간성, 월포
제주도	마라도, 서귀포	제주시, 중문, 우도, 가파도, 황해, 칠성, 신성, 영학

[참고] 동계: 기상부이 및 파고부이 지점

지난해(22년) 8월의 해양기상부이 해상풍 특성

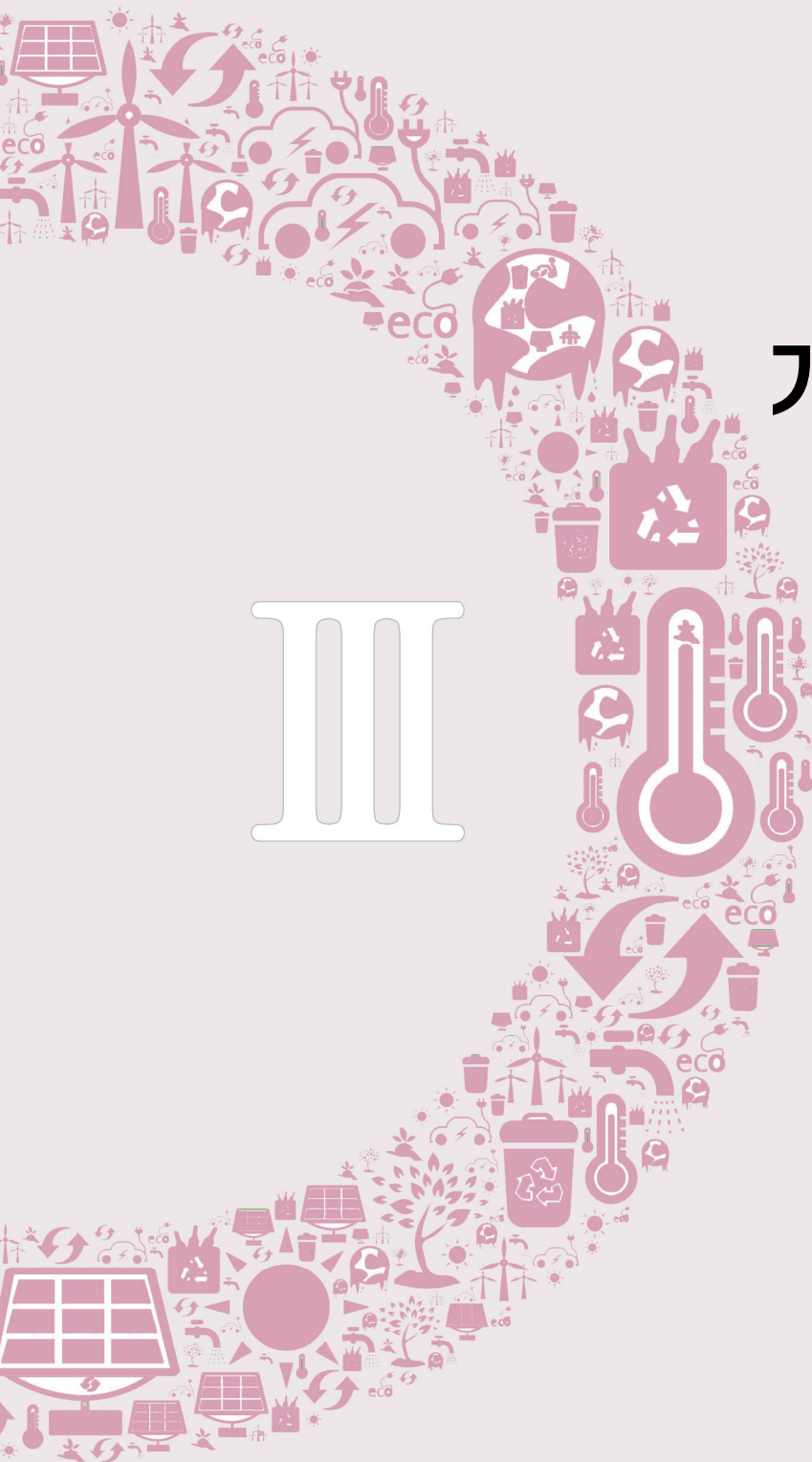
< 22년 8월 해양기상부이 해상풍 특성 >

○ 지난해(22년) 8월의 해양기상부이 지점별 해상풍 분포

해역	주풍계	Calms	0.5-3.3	3.4-7.9	8.0-13.8	13.9	관측지점
서해중부	SSW	1.6	27.3	54.2	16.9	0.0	서해도, 덕안도, 단천, 서해(20), 풍도
서해남부	SSW	0.9	24.5	69.2	15.3	0.1	필림도, 연탄, 평포, 거문도, 추자도, 추자도, 추자도
남해중부	WSW	0.6	24.2	66.3	9.0	0.0	과도도, 동해
동해중부	SW	2.4	29.5	54.0	14.2	0.0	울릉도, 동해
동해남부	SW	1.0	25.4	54.2	22.5	0.0	보령, 울진, 울진서, 울진남
제주도	SSW	0.4	11.2	62.5	25.9	0.1	마라도, 서귀포, 단천(23), 가파도, 가파도
전 월합		1.1	23.1	58.2	17.6	0.0	

- 주풍계: 전 해상에서 남서풍 계열이 우세하였음
- 전 해상 풍속: 3.4% 미만 24.2% / 3.4 - 7.9% 58.2% / 8.0% 이상 17.6%
- 풍속 분포: 최다 해역: 3.4% 미만 - 동해중부(31.8%) / 8.0% 이상 - 제주도(26.0%)

○ 지난해(22년) 8월 해양기상부이 지점별 해상풍 분포 1. 참고



기후·기후변화 예측

1. 기후예측 정보
2. 기후변화예측 정보

1 기후예측 정보

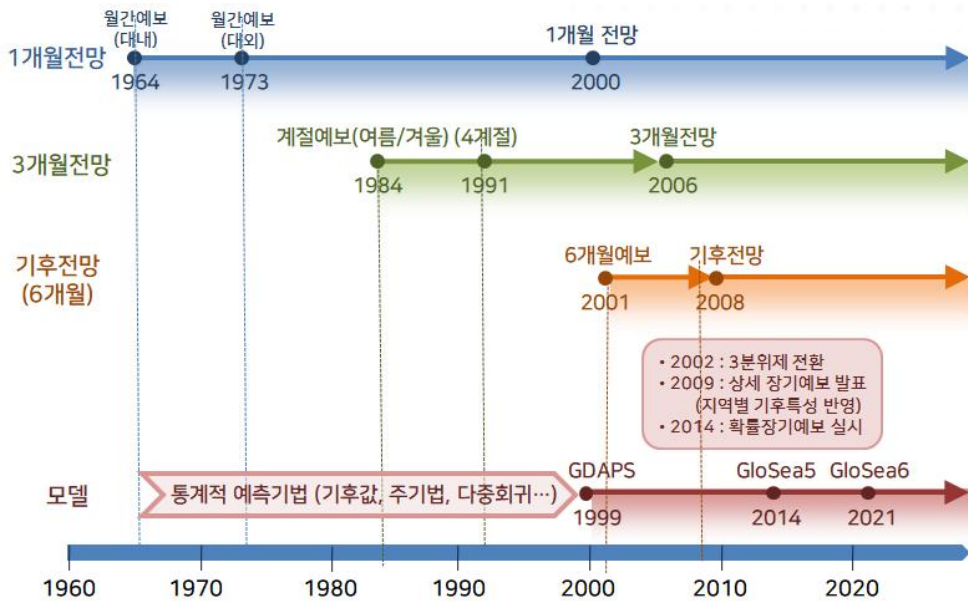
가. 장기예보 생산·제공

최근 기후변화로 인해 과거에 경험하지 못한 이상기후의 빈도와 강도가 증가하고 있으며, 자연재해로 인한 사회경제적 피해 또한 급증하고 있다. 일례로 2018년 여름철 전국 평균기온이 1973년 이후 가장 높아 폭염 일수 31.4일(평년 9.8일), 열대야일수 17.7일(평년 5.1일)로 역대 최다 1위를 기록하면서 무더위가 극심하였다. 또한 2020년 장마기간은 54일로 최장기간을 기록하였으나, 2021년은 17일로 3번째로 짧아 1년 사이 큰 차이를 보여 기후변동성이 커지고 있음을 보여 주었다.

이에 농업, 에너지, 보건 등 다양한 분야에서는 이상기후 피해 최소화를 위한 대응 정책 수립 등 의사결정을 위해 수요자 맞춤형과 더불어 정확하고 상세한 장기전망 정보를 요구하고 있다.

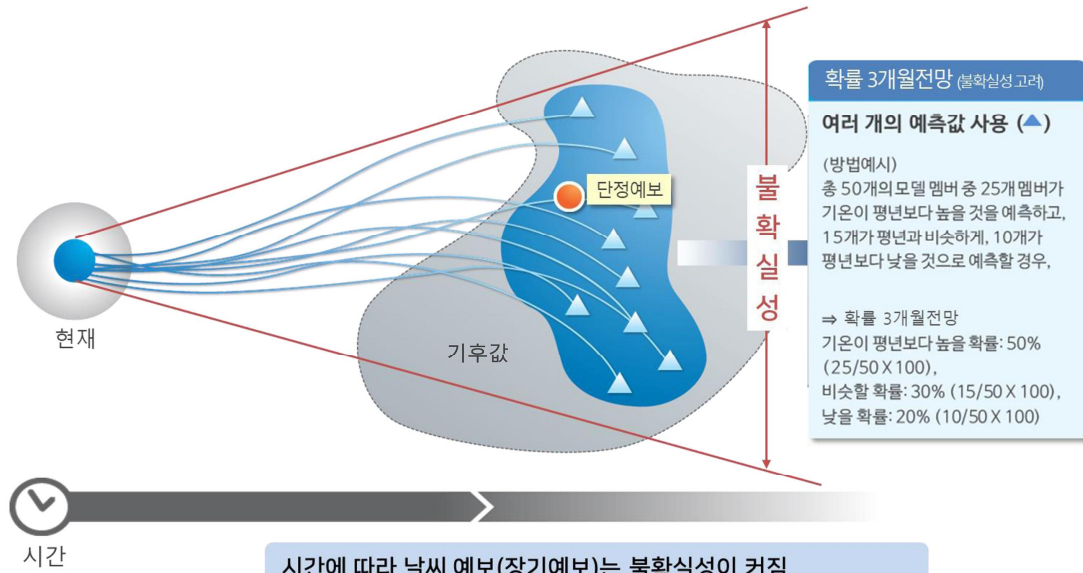
① 장기예보의 개요

1973년 6월부터 월간예보를 시작으로 장기예보를 제공하고 있으며, 2000년 1개월전망, 2006년 3개월 전망, 2008년 기후전망 제공, 2014년부터는 확률장기예보¹⁾를 실시하고 있다. 현재 주·월·계절별 평균기온 및 강수량에 대해 평년보다 높음(많음), 비슷, 낮음(적음)의 3가지 카테고리로 나누어 확률예보를 생산·제공한다.



[그림 III-1] 장기예보 연혁

1) 미래 날씨의 평균상태(기후)를 단정적으로 예보하던 기존의 방법과는 달리 발생 가능성에 대해 확률로써 예보하는 것을 말함



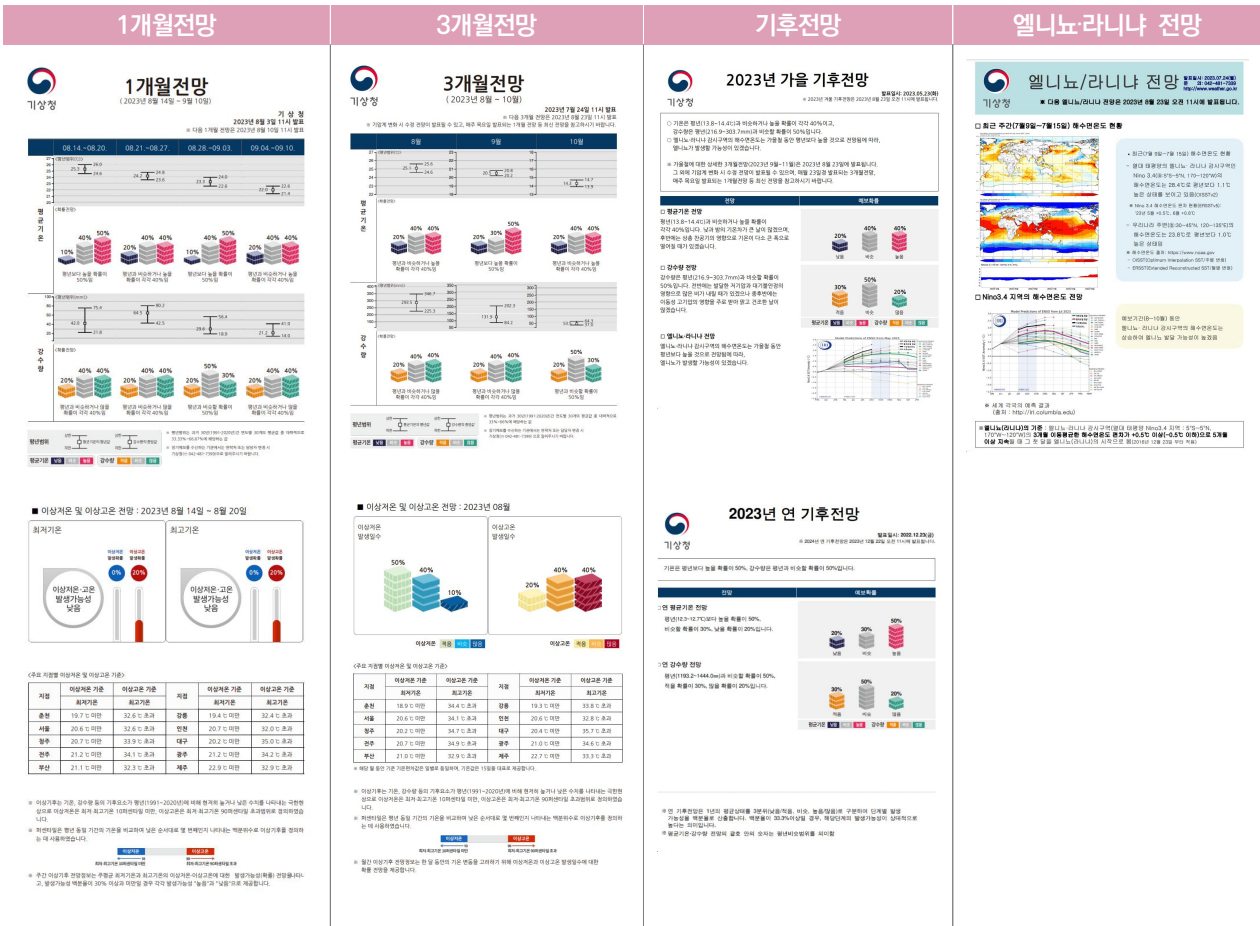
[그림 III-2] 확률장기예보의 개념

② 장기예보의 종류

장기예보는 발표하는 요소, 예측하는 기간 등에 따라 1·3개월 전망, 기후전망, 엘니뇨·라니냐 전망이 있다.

<표 III-1> 기상청 장기예보의 종류별 제공내용 및 제공시기

구분	예보종류	예보내용	예보형태	예보지역	발표일
장기 전망	1개월전망	- 주별 평균기온 및 강수량 - 주간 이상기후 감시·전망	3분위 확률정보	전국 평균· 12개 지역	매주 목요일
	3개월전망	- 월별 평균기온 및 강수량 - 월간 이상기후 감시·전망		전국 평균· 12개 지역	매월 23일경
기후 전망	계절 기후전망	- 발표일 다음다음 계절의 평균기온 및 강수량 - 엘니뇨·라니냐 감시구역의 전망 - 발표월/예보기간: 2월/여름철, 5월/ 가을철, 8월/겨울철, 11월/다음해 봄철	3분위 확률정보 -	전국평균	해당 월 23일경
	연 기후전망	- 다음 해 평균기온·강수량 - 12월 발표	3분위 확률정보		
엘니뇨·라니냐 전망		- 발표일 다음 달부터 3개월 엘니뇨·라니냐 감시구역의 전망	-	엘니뇨·라니냐 감시구역(Nino3.4)	매월 23일경



[그림 III-3] 장기예보 종류별 통보문 예시

③ 장기예보의 생산

우리나라에 영향을 주는 기후감시요소, 주요 기압계와 기후예측모델 결과 등을 종합적으로 분석하여 장기예보를 생산한다.



[그림 III-4] 장기예보 생산 흐름도

- **기후감시요소** : 전지구 해수면 온도 편차, 적도 열대 대류 활동(매든-줄리안 진동), 북극진동, 북극해빙, 눈덮임 등의 현황 및 변화 경향을 분석함



[그림 III-5] 우리나라에 영향을 주는 기후감시요소의 원격상관 개념

- **기후예측모델** : 현업 기후예측모델(GloSea6, 기상청 운영)²⁾ 및 15개 전지구 장기예측자료생산센터³⁾의 예측모델 자료를 분석함

④ 장기예보 활용 사례

장기예보는 정부의 폭염과 한파 등 국민안전을 위한 재난대응이나 에너지관리 등에 대한 장기적인 계획 수립, 기후특성에 맞는 농작물 품종 선택, 관광 상품의 기획 및 개발 등 사회 경제적 활동에 사용되며, 농수산 축산업 등의 재해 예방을 위한 정보로서 활용되며, [기상청 누리집(<http://weather.go.kr>) > 날씨 > 장기전망] 또는 [기후정보포털(<http://climate.go.kr>) > 기후예측정보 > 장기전망]에서 확인할 수 있다.



[그림 III-6] 생활 속 장기예보 활용 분야

2) 기상청에서 장기예보 생산을 위해 현업으로 운영하고 있는 기후예측모델로 영국기상청에서 도입한 수치모델임
 3) Global Producing Centre for Long-Range Forecast; GPC, 고도화된 예측기술을 보유하여 전지구 영역에 대해 장기예측 자료를 생산할 수 있는 기관을 세계기상기구(WMO)에서 센터로 지정함. 현재, 한국기상청을 비롯한 15개 기관이 있음

나. 기상가뭄전망 생산·제공

우리나라는 통계적으로 가뭄이 5~7년마다 나타나고 있으며, 최근 들어서는 비가 오는 양이 지역별로 크게 차이가 나 일부 지역에만 가뭄이 발생하는 경우가 자주 있다. 중부 지방은 1970년대보다 2010년대에 기상 가뭄이 3.2배나 많아졌고, 2022년 남부 지방의 기상가뭄 발생일은 227.3일로 가장 많은 해로 기록되었다. 가뭄은 비가 적게 오는 것으로 시작되므로, 가뭄에 대비할 수 있도록 기상가뭄 정보를 미리 제공하는 것이 중요하다. 기상청은 가뭄을 예측하고 대비하기 위해 2018년부터 1개월 뒤의 기상가뭄 전망을 발표하고 있으며, 관계부처(행정안전부, 농림축산식품부, 환경부)와 함께 3개월 가뭄 전망도 발표하고 있다.

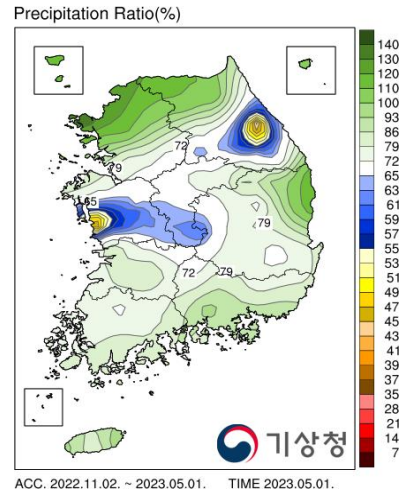
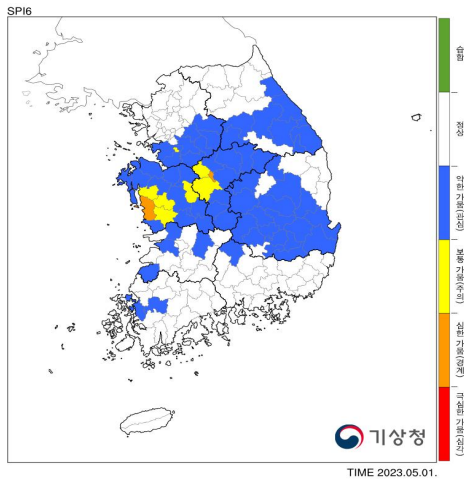
① 가뭄의 정의와 분류

가뭄이란 평균 이하의 강수량으로 인해 어느 지역의 물 부족이 장기화되는 현상으로 판단 기준에 의해 기상학적·농업적·수문학적·사회경제적 가뭄으로 분류할 수 있다. 기상학적 가뭄은 가뭄의 선행지표로서, 시간이 경과 됨에 따라 농업적 가뭄, 수문학적, 사회·경제적 가뭄으로 전이되어 나타난다.

기상학적 가뭄 Meteorological Drought	<ul style="list-style-type: none"> 일정기간 평균 이하의 강수량이 지속되는 현상을 말하며, 일반적으로 다른 종류의 가뭄에 비해 먼저 일어남. 기상청의 기상가뭄은 '기상학적 가뭄'을 말함
농업적 가뭄 Agricultural Drought	<ul style="list-style-type: none"> 강수의 부족이 오랫동안 계속되어 작물의 생육에 필요한 수분이 부족한 상태를 말함
수문학적 가뭄 Hydrological Drought	<ul style="list-style-type: none"> 수자원인 댐, 저수지, 하천 등의 지하수와 지표수가 부족한 상태를 말함
사회경제적 가뭄 Socioeconomic Drought	<ul style="list-style-type: none"> 사회적으로 물의 수요가 증가하여 공급량을 초과하며 발생하는 농업·공업·생활용수 등이 부족한 상태를 말함. 경제적인 물의 수요 공급과 연관되어 있음



[그림 III-7] 가뭄의 전이 과정



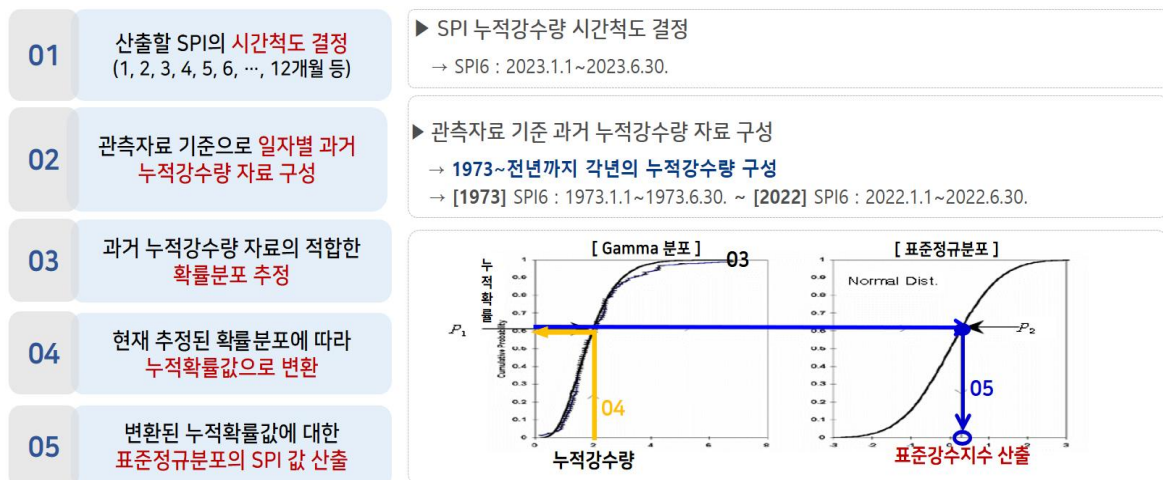
[그림 III-8] 기상가뭄 현황(좌)과 6개월 강수평년비(우) 예시

② 기상가뭄 분석

기상청은 기상학적 가뭄을 정량적으로 분석하기 위해 2017년부터 6개월 표준강수지수(SPI6)를 적용하여 기상가뭄을 판단하고 있다.

1) 표준강수지수(SPI4)

누적강수량만을 이용하여 가뭄 심도를 산정하는 가뭄지수로 최근 누적강수량을 과거 같은 기간의 누적강수량과 통계적으로 비교하여 표준화한 값임. 세계기상기구(WMO)에서 기상학적 가뭄 감시를 위한 대표적인 가뭄지수로 권고하고 있으며, 기상청은 표준강수지수 1개월, 2개월, 3개월, 4개월, 5개월, 6개월, 9개월, 12개월, 18개월, 24개월을 매일 생산하여 발표하고 있다.



[그림 III-9] 표준강수지수 산출 절차 예시

4) Standardized Precipitation Index

2) 기상가뭄 단계 기준

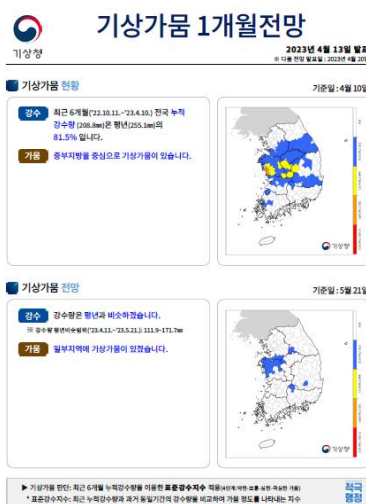
6개월 누적강수량을 이용한 표준강수지수(SPI6)를 적용하여 기상가뭄 단계를 4단계(약한^{관심}·보통^{주의}·심한^{경계}·극심한^{심각} 가뭄)로 구분하고 있다.

구분	기상가뭄 단계기준
약한 가뭄 (관심)	최근 6개월 누적강수량을 이용한 표준강수지수 -1.0이하(평년대비 약 65% 이하)로 기상가뭄이 지속될 것으로 예상되는 경우로 하되, 지역별 강수특성 반영할 수 있음
보통 가뭄 (주의)	최근 6개월 누적강수량을 이용한 표준강수지수 -1.5이하(평년대비 약 55% 이하)로 기상가뭄이 지속될 것으로 예상되는 경우로 하되, 지역별 강수특성 반영할 수 있음
심한 가뭄 (경계)	최근 6개월 누적강수량을 이용한 표준강수지수 -2.0이하(평년대비 약 45% 이하)로 기상가뭄이 지속될 것으로 예상되는 경우로 하되, 지역별 강수특성 반영할 수 있음
극심한 가뭄 (심각)	최근 6개월 누적강수량이 이용한 표준강수지수 -2.0이하가 20일 이상 기상가뭄이 지속되어 전국적인 가뭄 피해가 예상되는 경우로 하되, 지역별 강수특성 반영할 수 있음

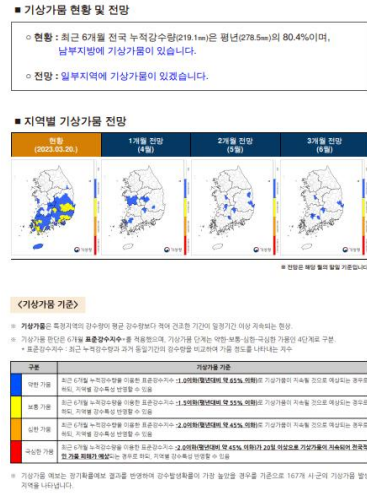
③ 기상가뭄 전망

기상가뭄 예보는 167개 시·군 행정구역의 기상가뭄 발생 상황을 전망하는 것이며, 기상청은 기상가뭄 ‘1개월전망’, ‘3개월전망’, 관계부처 합동5) ‘가뭄 예·경보(3개월전망)’를 발표하고 있다.

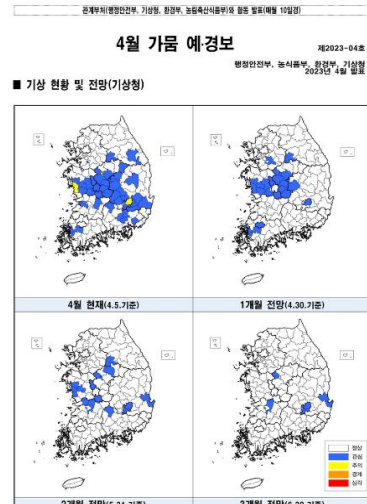
종류	발표일	내용
1개월전망	매주 목요일	최근 기상가뭄 현황 및 발표일부터 5주 후 일요일의 기상가뭄 전망
3개월전망	매월 23일경	최근 기상가뭄 현황 및 발표일 다음 월부터 3개월의 말일 기상가뭄 전망
가뭄 예·경보 (관계부처 합동)	매월 10일경	최근 기상가뭄 현황 및 발표일 월부터 3개월의 말일 기상가뭄 전망



1개월전망



3개월전망



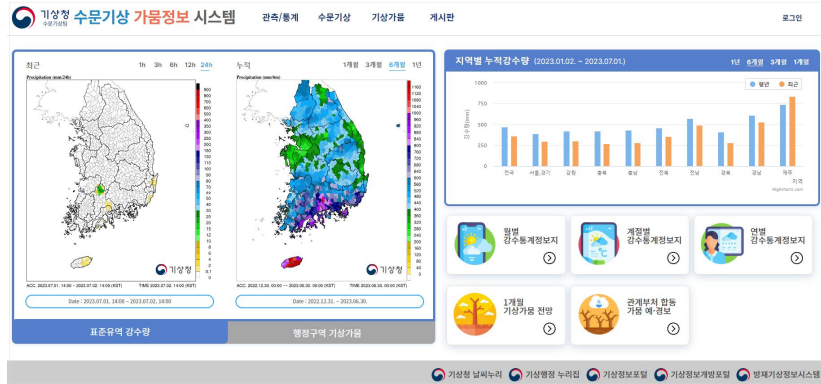
가뭄 예·경보

[그림 III-10] 기상가뭄 예보 종류

5) 행정안전부(총괄), 기상청(기상가뭄), 농림축산식품부(농업용수 가뭄), 환경부(생활 및 공업용수 가뭄)

④ 기상가뭄 정보 활용 및 제공

기상가뭄정보는 생활 및 공업용수 가뭄(환경부), 농업용수 가뭄(농림축산식품부) 등 타분야 가뭄 전망 분석을 지원하고 수자원(댐·하천 등) 관리, 정부부처 및 지자체의 가뭄 대책 수립 지원 등 다양한 분야에서 활용된다. 관련정보는 [기상청 누리집(<http://weather.go.kr>) > 기상특보 > 가뭄예보] 또는 [수문기상 가뭄정보 시스템(<http://hydro.kma.go.kr>) > 기상가뭄 > 예보]에서 확인할 수 있다.



[그림 Ⅲ-11] 기상청 수문기상 가뭄정보 시스템 웹페이지

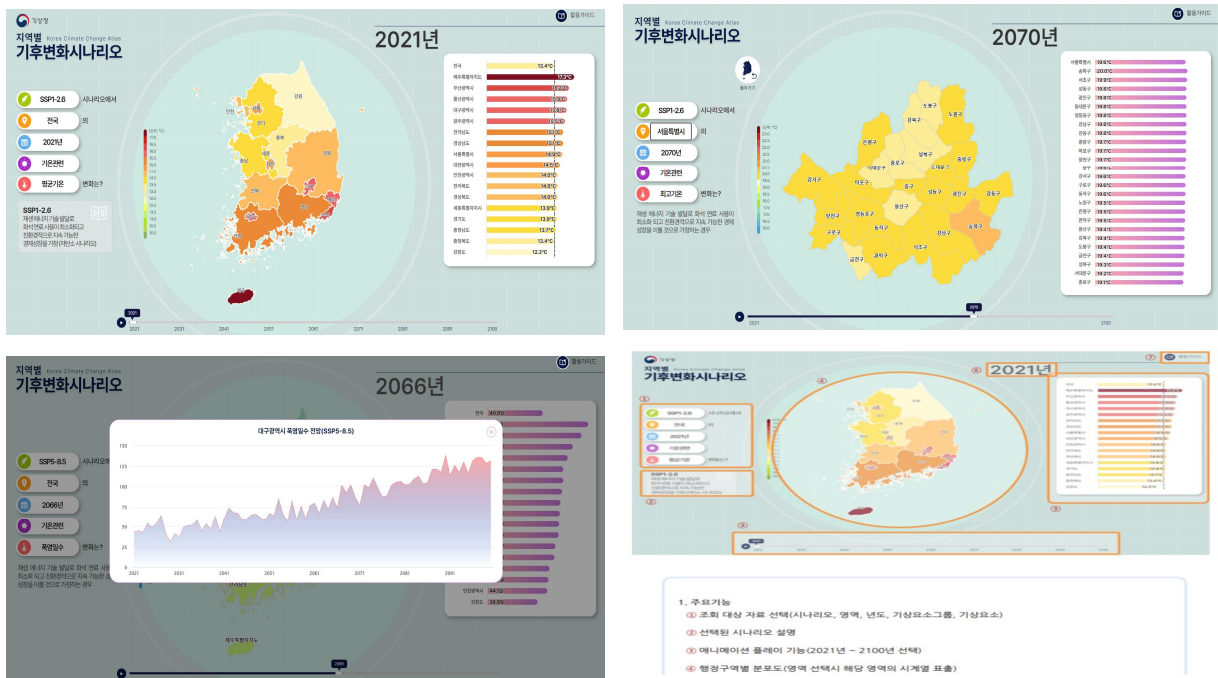
IPCC 제6차 평가보고서에 따르면 이번 세기 중반까지 현 수준으로 온실가스를 배출할 경우 1.5°C 지구 온난화가 2021~2040년에 도달할 것으로 전망하였다. 전 세계적으로 기후위기로 인한 재산·인명 피해가 급증하고 있으며 우리나라도 극한기후 발생 강도·빈도가 증가하고 있어 기후위기 대응을 위한 상세 미래 전망정보 제공 요구가 증가하고 있다.

이에, 지역·부문별 기후변화 취약성 및 영향 분석·평가 시 과학적 근거자료 제공을 위해 2100년까지 전지구, 동아시아·한반도, 남한상세, 행정구역별 기후변화 시나리오(미래 기후요소, 극한기후지수, 부문별 영향정보 등)를 산출하여 제공하고 있다.

가. 기후변화 시나리오

① 기후변화 시나리오 정의

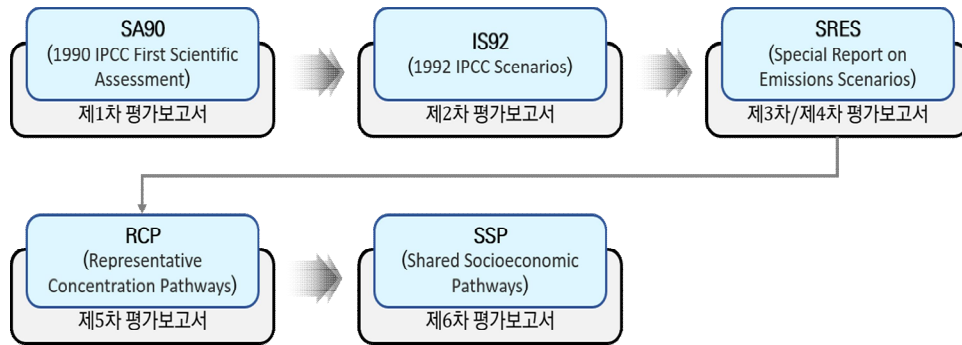
기후변화 시나리오는 온실가스, 에어로졸, 토지 이용변화 등의 인위적인 원인으로 발생한 복사강제력 변화를 지구시스템모델에 적용하여 산출한 미래 기후변화 전망정보(기온, 강수량, 바람, 습도 등)이다. 기후변화 시나리오는 기후변화로 인한 영향을 평가하고 피해를 최소화하기 위해 활용할 수 있는 선제적인 정보로 ‘광범위하고 다양하게 나타나는 미래’에서 불확실성을 잘 이해하여 신뢰할 수 있는 의사결정을 돕는 것이다.



[그림 III-12] 지역별 기후변화 시나리오(기후정보포털)

② 기후변화 시나리오 종류

IPCC는 1988년에 설립된 이후 수년 주기로 평가보고서를 발간하고 있으며, 제6차 평가보고서 제1실무 그룹 보고서(2021)에서는 SSP 시나리오를 기반으로 미래 기후변화를 전망하였다.



[그림 III-13] IPCC의 기후변화 시나리오 종류

- SSP(Shared Socio-economic Pathways) 시나리오: 2100년 기준 복사강제력 정도(기존 RCP⁶⁾ 개념)와 함께 기후변화 적응과 온실가스 감축 여부에 따라 인구, 경제, 토지이용, 에너지 사용 등 미래의 사회경제 지표의 정량적인 변화 내용을 포함하여 5개 그룹으로 구성됨(O'Neill et al., 2014; 2017)
 - SSP1과 SSP5는 사회가 발전되면서 온실가스 감축을 잘하거나(1), 못한(5) 경우
 - SSP3과 SSP4는 사회 발전이 더디나 온실가스 감축을 잘하거나(4), 못한(3) 경우
 - SSP2는 다른 사회경제경로의 중간단계 정도의 발전 및 감축을 이룬 경우

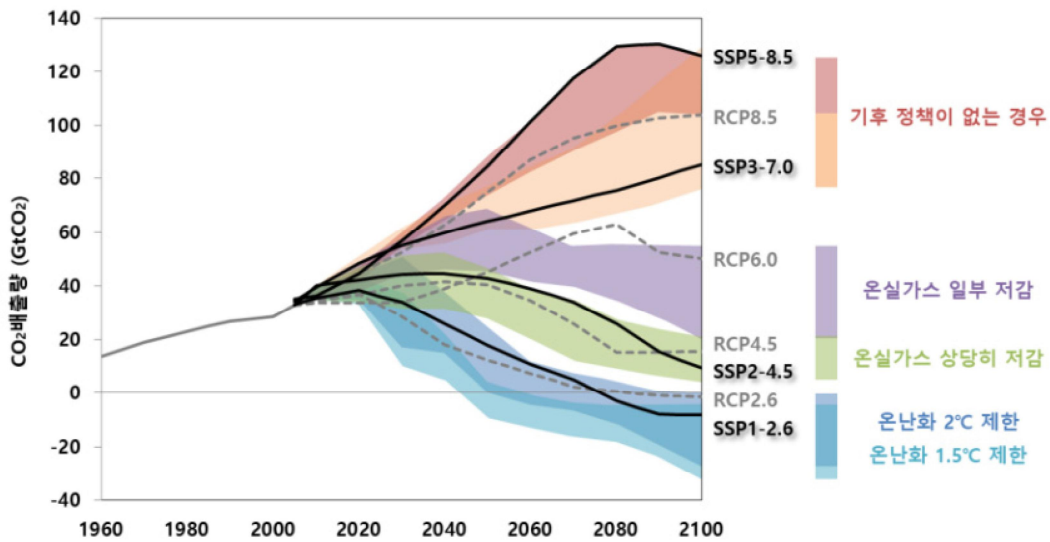


[그림 III-14] 기후변화 적응 및 완화 노력에 따른 SSP 시나리오의 구분

6) Representative Concentration Pathways; RCP(대표농도경로): IPCC 제5차 평가보고서(2013)에서는 인간 활동이 대기에 미치는 복사량으로 온실가스 농도를 설정함

- IPCC 제6차 평가보고서의 표준 온실가스 경로는 SSP1-2.6, SSP2-4.5, SSP3-7.0, SSP5-8.5 4종으로 첫 번째 숫자는 기후변화 적응 및 완화를 위한 사회·경제적 노력, 두 번째 숫자는 2100년 기준의 복사강제력⁷⁾을 나타냄

종류	의미
SSP1-2.6	재생에너지 기술 발달로 화석연료 사용이 최소화되고 친환경적으로 지속가능한 경제성장을 가정
SSP2-4.5	기후변화 완화 및 사회경제 발전 정도가 중간단계를 가정
SSP3-7.0	기후변화 완화 정책에 소극적이며 기술개발이 늦어 기후변화에 취약한 사회구조를 가정
SSP5-8.5	산업기술의 빠른 발전에 중심을 두어 화석연료 사용이 높고 도시 위주의 무분별한 개발 확대를 가정



[그림 III-15] 과거(1960~2005년) 및 미래(2006~2100년)에 대한 기후변화 시나리오의 온실가스 배출 경로 과거(회색 실선), SSP(검정 실선) [자료 출처: <https://tntcat.iiasa.ac.at/SspDb>]

7) 태양복사에너지 중 지구흡수에너지는 약 238w/m²로 두번째 숫자는 RCP 시나리오와 마찬가지로 온실가스로 인한 추가적인 지구흡수에너지 양을 나타냄

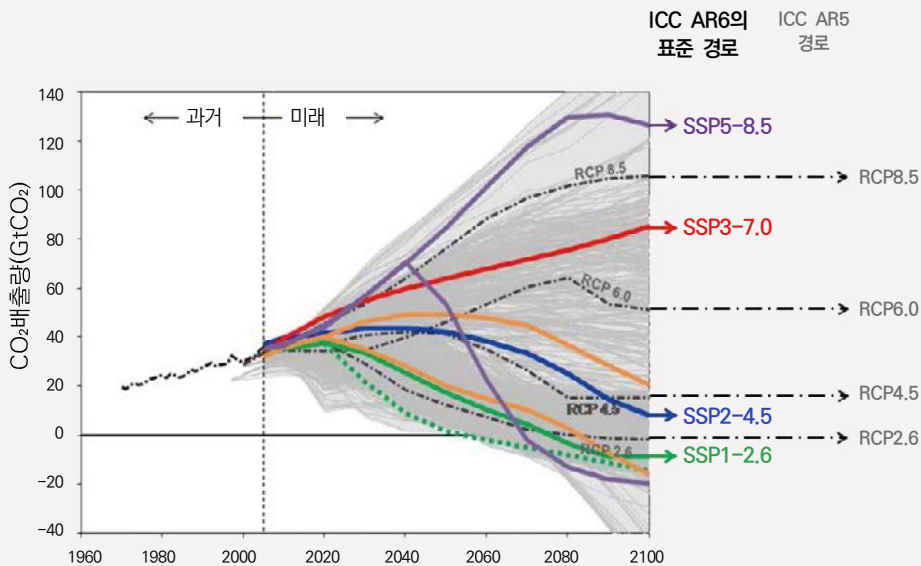
RCP와 SSP 시나리오

- RCP(Representative Concentration Pathways, 대표농도경로)는 인간 활동이 대기에 미치는 영향을 평가하기 위해 온실가스 대표 농도 경로를 사용
- SSP(Shared Socioeconomic Pathways, 공통사회 경제경로)는 기존 RCP 개념과 함께 미래 기후변화 대비 수준에 따라 인구, 경제, 토지이용, 에너지 사용 등의 미래 사회경제시스템 변화를 적용한 경로임

<표 III-2> RCP와 SSP 시나리오 비교

RCP 시나리오			SSP 시나리오	
IPCC 제5차 평가보고서에 사용된 시나리오			IPCC 제6차 평가보고서에 사용된 시나리오	
2100년 지구의 복사강제력을 기준으로 한 온실가스 시나리오			RCP 시나리오에 미래 인구수, 토지이용 등 사회경제학적 요소까지 고려한 시나리오	
종류	의미	CO ₂ 농도 (2100년)	종류	의미
RCP2.6	지금부터 즉시 온실가스 감축 수행	420ppm	SSP1-2.6	재생에너지 기술 발달로 화석연료 사용이 최소화되고 친환경적으로 지속가능한 경제성장을 가정
RCP4.5	온실가스 저감정책 상당히 실현	540ppm	SSP2-4.5	기후변화 완화 및 사회경제 발전 정도가 중간 단계를 가정
RCP6.0	온실가스 저감정책 어느 정도 실현	670ppm	SSP3-7.0	기후변화 완화 정책에 소극적이며 기술개발이 늦어 기후변화에 취약한 사회구조를 가정
RCP8.5	현재 추세대로 온실가스 배출	940ppm	SSP5-8.5	산업기술의 빠른 발전에 중심을 두어 화석연료 사용이 높고 도시 위주의 무분별한 개발 확대를 가정

- RCP 시나리오 숫자의 의미: 태양복사에너지 중 지구흡수에너지는 약 238W/m² 임. RCP 숫자는 온실가스로 인한 추가적인 지구흡수에너지양을 의미함. 즉, RCP8.5는 이산화탄소(CO₂) 농도가 940ppm이 되면 태양에너지 8.5W/m²가 더 흡수됨을 의미



[그림 III-16] 과거(1970-2014년) 및 미래(2015-2100년)의 온실가스 배출 경로

③ 기후변화 시나리오 산출방법

1) 전지구 기후변화 시나리오

IPCC 국제 기후변화 시나리오 비교·검증 프로젝트(CMIP6⁸⁾)의 국제표준 규격에 따라 135km 공간해상도의 전지구 기후변화 시나리오를 산출한다.

기후변화 시나리오 산출의 첫 번째 단계인 산업화 이전의 기후조건을 적용한 규준실험⁹⁾ 수행 후, 과거기후 기간(1850~2014년)에 대해 각 모델별¹⁰⁾ 3개씩 총 6개의 앙상블 자료를 산출한다. 각 모델별로 수행된 과거기후 모의 앙상블 자료 마지막 값(2014년)을 초기조건으로 하여 SSP 강제력에 따른 미래전망(2015~2100년) 앙상블 자료를 산출한다.

2) 동아시아·한반도 기후변화 시나리오

지역 기후변화 시나리오는 전지구 시나리오에서 표현하기 힘든 작은 규모의 대기현상과 지형효과 등이 반영된 것이다. 전지구 시나리오(135km)를 입력자료로 사용하여 역학적 상세화를 통해 25km 공간해상도의 동아시아·한반도 시나리오를 산출한다.

기후변화 예측모델이 가지는 불확실성을 줄이기 위하여 5종의 지역기후 예측모델을 활용하여 앙상블 자료를 산출하였으며, 이를 평균하여 동아시아·한반도 미래 기후변화를 전망한다. 동아시아·한반도 시나리오의 과거 기후 산출 기간은 1979~2014년, 미래 시나리오 산출 기간은 2015~2100년이다.

3) 남한상세 기후변화 시나리오

동아시아·한반도 시나리오(25km)를 기반으로 통계적 상세화를 통해 육상 지역에 대한 1km 공간해상도의 남한상세 시나리오를 산출한다.

우리나라의 복잡한 지형조건을 고려하여 거리, 고도, 해양도, 지향면 등을 적용한 통계모델을 활용하여 수평 해상도 1km의 고해상도 시나리오를 생산한다.

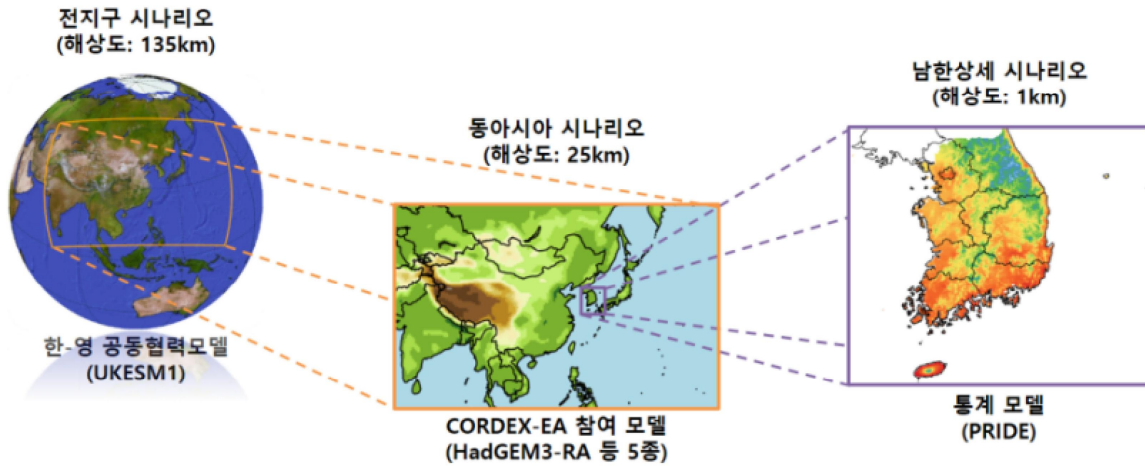
- (1단계) 기상청 관측자료(ASOS, AWS 총 605개소)에 MK-PRISM¹¹⁾ 기법을 적용하여 수평해상도 1km의 격자형 관측자료(2000~2019년)를 생산
- (2단계) 수평해상도가 25km인 동아시아·한반도 시나리오의 현재기후(2000~2019년)와 미래 전망 자료(2021~2100년)를 1km 해상도로 객관분석한 후, 각 격자별로 미래 전망과 현재 기후의 편차값인 미래 전망 편차를 추출
- (3단계) 수평해상도 1km의 격자형 관측자료와 미래 전망 편차를 더하여 고해상도의 남한상세 기후 변화 시나리오를 생산

8) Sixth Couple Model Intercomparison Project

9) 산업화 이전 온실가스 농도값을 고정시켜 예측모델을 안정화 상태로 만들기 위한 실험

10) SSP 전지구 기후변화 시나리오는 K-ACE와 UKESM1 2종의 모델을 활용하여 산출하였으며 K-ACE는 국립기상과학원 자체 개발한 모델이며, UKESM1은 한-영 기상청 간 과학협력의 일환으로 공동 활용 중인 모델임

11) Modified Korean Parameter-elevation Regressions and Independent Slopes Model: 관측자료에 거리, 고도, 해양도, 지향면 등을 고려하여 1km 격자자료를 추정하는 기법

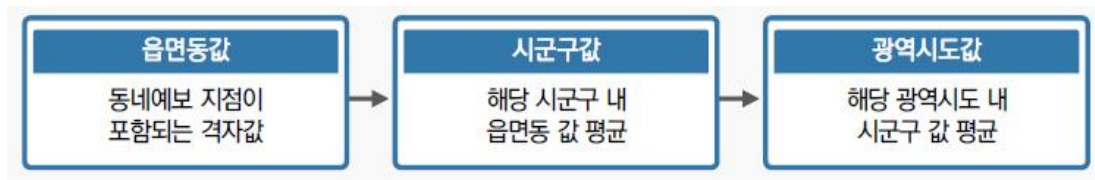


[그림 III-17] SSP 기후변화 시나리오 생산체계(전지구 → 동아시아·한반도 → 남한상세)

4) 행정구역 기후변화 시나리오

남한상세 시나리오(1km)를 활용하여 광역시도, 시군구, 읍면동 등 행정구역 자료로 변환한다.

- (읍면동) 남한상세 1km 격자자료에서 해당 읍면동 기상청 동네예보 지점이 포함되는 격자값을 대푯값으로 설정
- (시군구) 해당 시군구 내 포함되어 있는 읍면동 값들을 산술평균하여 산출
- (광역시도) 해당 광역시도 내 포함되어 있는 시군구 값들을 산술평균하여 산출



[그림 III-18] 행정구역별 시나리오 자료 산출 방법

④ 국가 기후변화 표준 시나리오 인증제

기상청은 부처 및 지방·공공기관 기후위기 적응대책, 기후변화영향평가 등의 기후변화 관련 정책 수립 시 과학적 기반이 되는 미래 기후변화 전망정보의 일관성을 유지하기 위하여 '국가 기후변화 표준 시나리오 인증제'를 운영하고 있다.

국가 기후변화 표준 시나리오란 국제기구(IPCC) 기준에 근거한 객관적인 인증기준에 만족하는 기후변화 시나리오를 의미한다. 2015년 인증제 운영 이래 2023년 5월까지 총 33종(전지구 시나리오 8종, 지역 시나리오 25종)의 국가 기후변화 표준 시나리오를 인증하였다.

<표 III-3> 시나리오 인증 절차

인증신청서 접수 (신청자 → 기상청)	- 신청방법: 공문, 우편 및 이메일 - 제출서류: 인증신청서, 설명자료, 증빙서류 - 대상: 국가기관, 대학교, 연구기관, 민간기업 등
사전 검토 (인증실무위원회)	- 위원 구성/역할: 5명 내외/인증 신청서류 검토
인증심사 (인증심사위원회, 접수 후 90일 이내)	- 위원구성: 위원장 포함 10명 이내(외부위원 3명 이상) - 심사: 출석위원 3분의 2 이상의 찬성으로 의결
심사결과 통보	- 적합: 인증서 별도송부 - 부적합/인증취소: 구체적인 사유를 포함하여 신청인에게 통보
인증서 발급, 홈페이지 공고	- 기상청 누리집(http://kma.go.kr) > 행정과 정책 > 공지사항

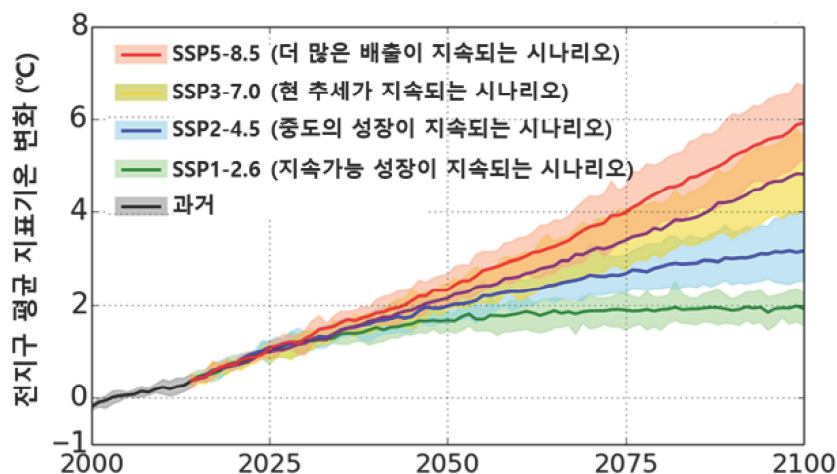
나. 기후변화 시나리오(SSP) 기반 미래 전망정보

① 전지구 미래 전망정보

1) 기온

21세기 말(2081~2100년)의 전지구 평균기온은 온실가스 배출 정도에 따라 현재(1995~2014년) 대비 +1.9~5.2℃ 상승할 것으로 전망되며, 미래 각 기간별 전지구 평균기온은 전반기에 +1.2~1.3℃, 중반기에 +1.7~2.4℃, 후반기에 +1.9~5.2℃의 상승폭을 보인다.

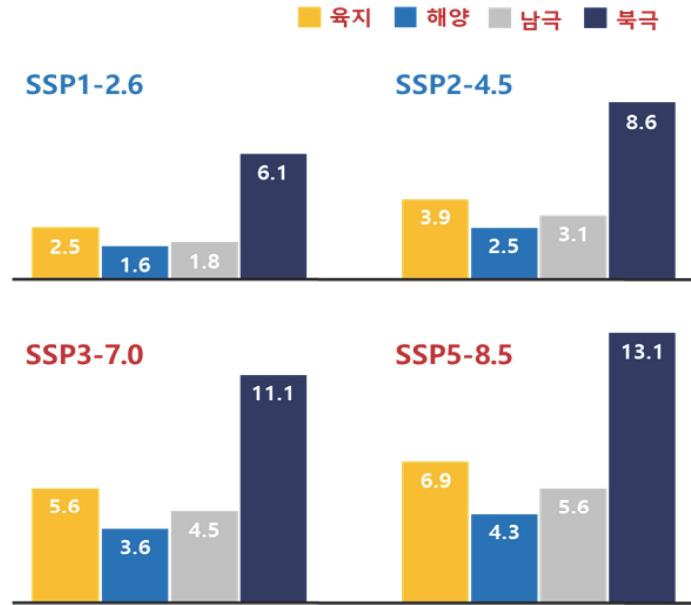
- SSP5-8.5의 경우 전지구 평균기온은 10년당 +0.66℃씩 증가할 것으로 전망
- SSP1-2.6의 경우 21세기 전반에는 10년당 +0.60℃의 기온 상승을 보이지만 21세기 중반 이후 기온 상승폭이 감소



[그림 III-19] 현재(1995~2014년) 기간 대비 2000~2100년의 연도별 전지구 평균기온 변화 (음영은 6개 앙상블의 범주, 실선은 앙상블 평균값 의미)

21세기 말의 기온 상승 폭은 육지가 해양보다 크며, 특히 북극의 기온 상승은 육지에 비해 2배 정도로 클 것으로 전망되며, SSP5-8.5 시나리오는 SSP1-2.6와 비교 시, 각 권역별 21세기 말 기온 상승 폭을 약 2~3배 정도 크게 모의한다.

- 육지의 기온 상승 폭은 +2.5~6.9℃로 해양(+1.6~4.3℃)보다 크게 나타남
- 특히, 북극의 기온 상승은 육지에 비해 2배 정도 큰 +6.1~13.1℃로 전망됨

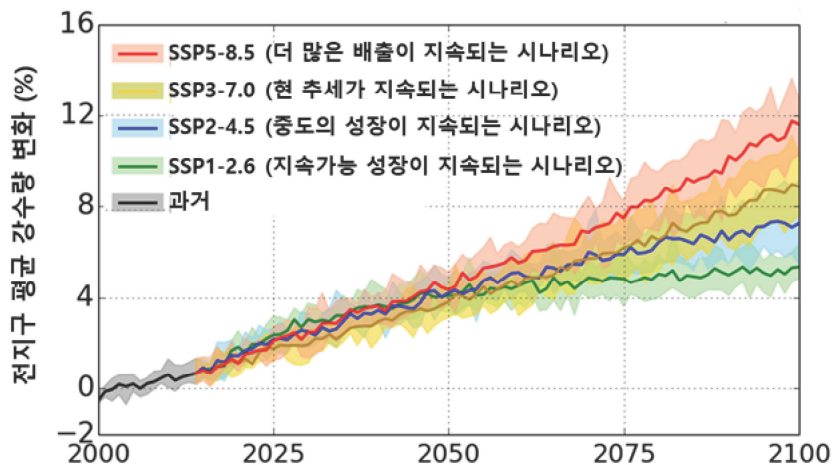


[그림 III-20] SSP에 따른 현재 대비 21세기 말의 각 권역별 평균기온 변화(℃)

2) 강수량

21세기 말의 전지구 평균강수량은 온실가스 배출 정도에 따라 현재 대비 +5~10% 증가할 것으로 전망된다.

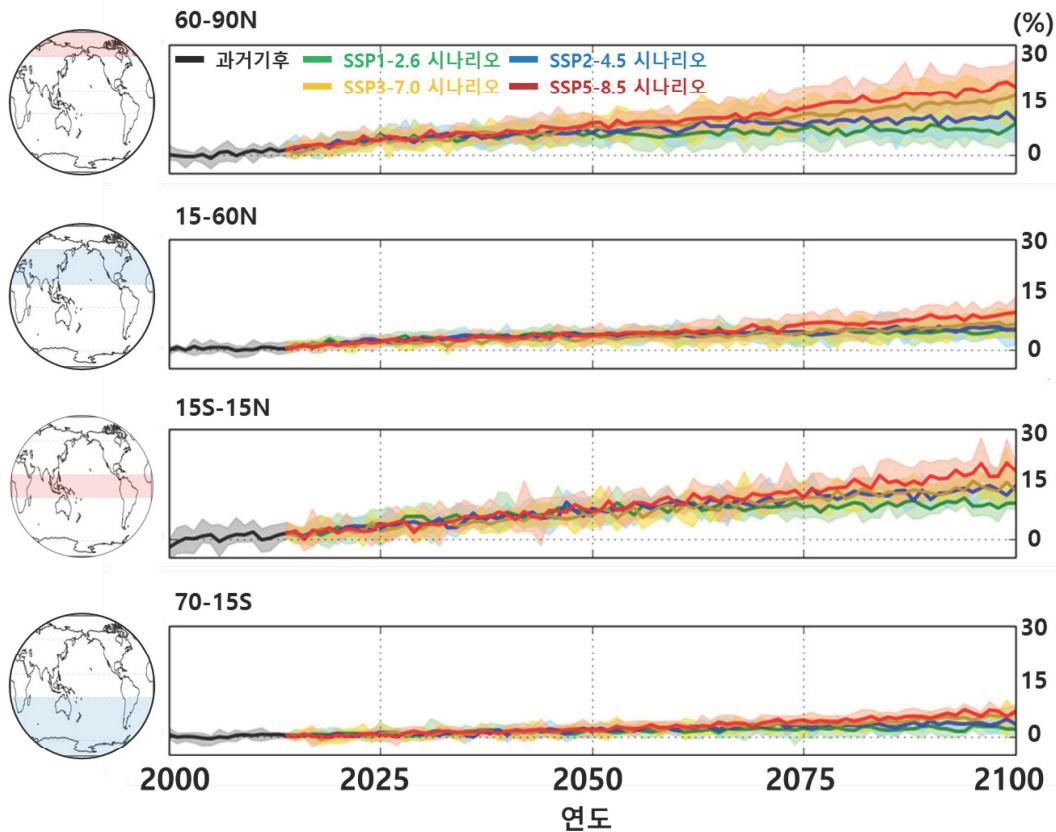
- 미래 각 기간별 전지구 평균강수량은 현재 대비 전반기에 +3%, 중반기에 +5~7%, 21세기 말에 +5~10% 증가폭을 보임



[그림 III-21] 현재(1995~2014년) 대비 2000~2100년의 연도별 전지구 평균강수량 변화(%)

강수량 증가는 지역별 차이가 있으나, 적도와 60도 이상의 북반구 고위도 지역에서 증가 경향(+7~17%)이 크게 나타난다.

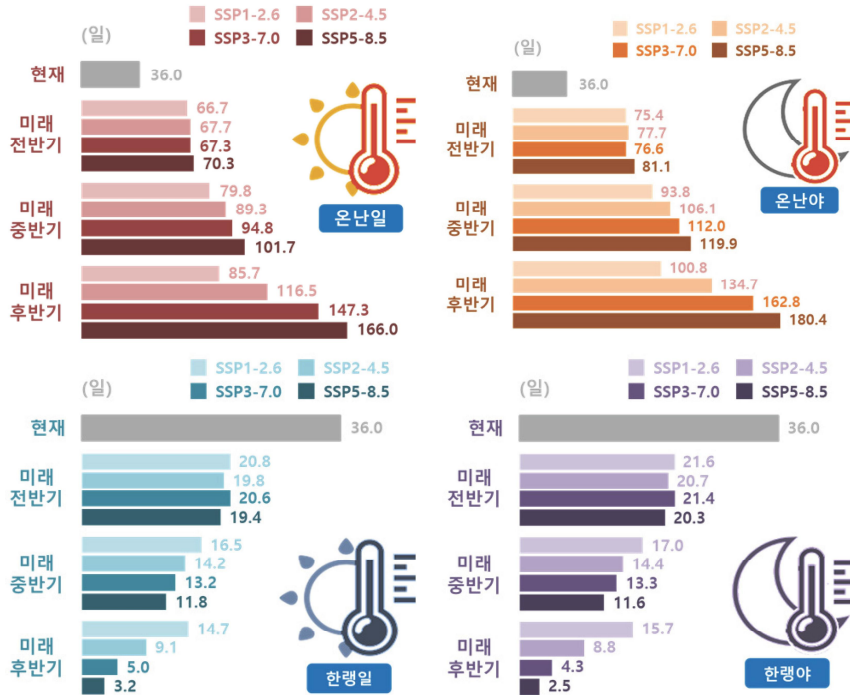
- 북반구의 강수량 증가(+6~12%)는 남반구의 강수량 증가(+2~6%)보다 약 2~3배 정도 큰 것으로 분석됨
- 온실가스 배출 정도에 따라 21세기 말 적도 지역의 평균강수량은 +9~17% 증가하는 것으로 나타났으며, 60도 이상의 북반구 고위도 지역은 +7~17% 증가하는 것으로 전망됨



[그림 III-22] 현재(1995~2014년) 대비 2000~2100년의 위도별 평균강수량 변화(%)

3) 극한기후지수(기온)

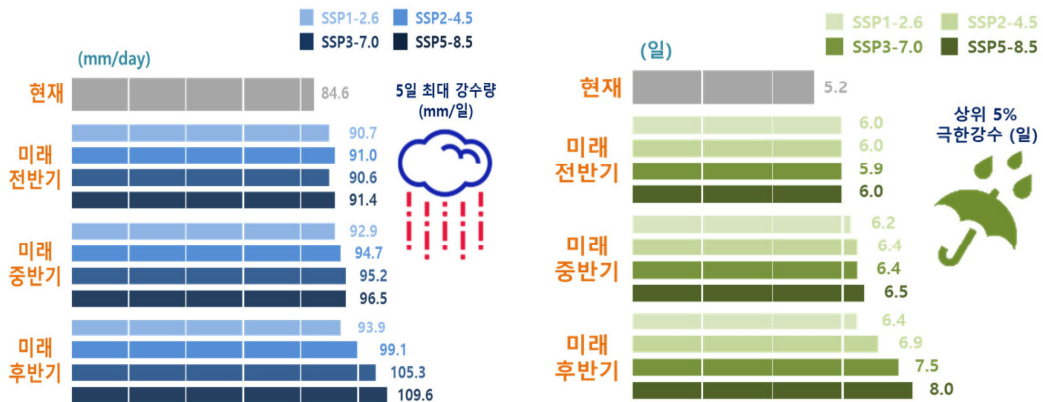
미래 전지구 육지 지역의 온난일/온난야¹²⁾ 일수는 급격히 증가하고 한랭일/한랭야¹³⁾ 일수는 감소할 것으로 전망되며, 이러한 경향은 SSP5-8.5에서 더욱 크게 나타난다.



[그림 III-23] 현재 및 미래 각 기간별 기온극한지수(온난일/온난야(위), 한랭일/한랭야(아래))의 변화

4) 극한기후지수(강수)

SSP1-2.6과 SSP5-8.5 모두 21세기 말의 전지구 육지 지역 5일 최대 강수량¹⁴⁾은 모두 증가하는 것으로 전망되며, 온실가스 배출이 현재처럼 지속되는 SSP5-8.5의 경우, 21세기 말의 극한강수 일수는 현재보다 약 1.5배 정도 증가할 것으로 전망된다.



[그림 III-24] 현재 및 미래 각 기간별 (좌)5일 최대강수량(mm)과 (우)상위 5% 극한강수 일수(일)의 변화

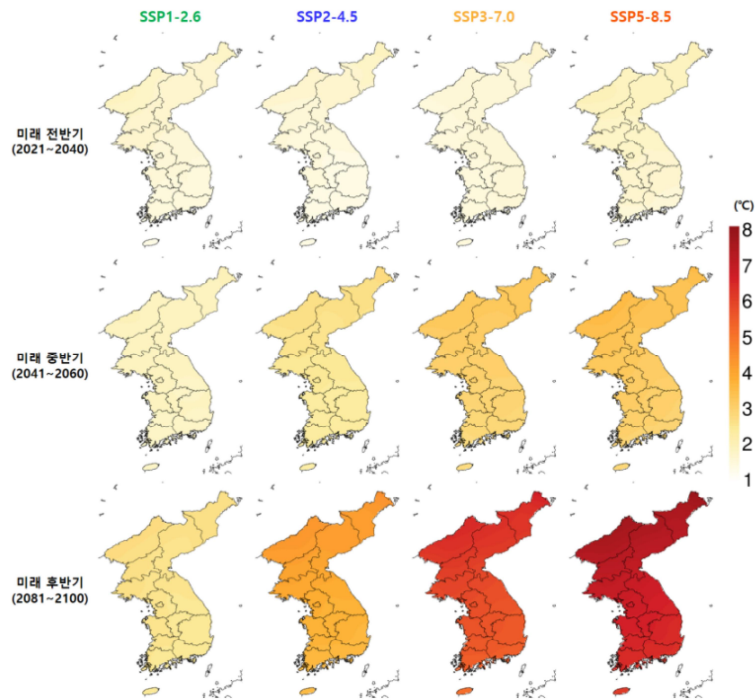
12) 온난일: 일 최고기온이 기준기간의 90퍼센타일을 초과한 날의 일수
 온난야: 일 최저기온이 기준기간의 90퍼센타일을 초과한 날의 일수
 13) 한랭일: 일 최고기온이 기준기간의 10퍼센타일 미만인 날의 일수
 한랭야: 일 최저기온이 기준기간의 10퍼센타일 미만인 날의 일수
 14) 5일 최대강수량: 연속된 5일 동안 기록된 최대 강수량

② 한반도 미래 전망정보

1) 기온

미래 후반기의 한반도 연평균기온은 온실가스 배출 정도에 따라 현재대비 +2.6~7.0℃ 상승할 것으로 전망된다.

- 모든 시나리오에서 미래 전반기까지 연평균기온 상승폭이 비슷하지만 SSP5-8.5는 미래 중반기부터 급격히 상승
- 한반도의 지역별 연평균기온 상승폭은 북부 지역에서 크고 남부 지역은 비교적 작음

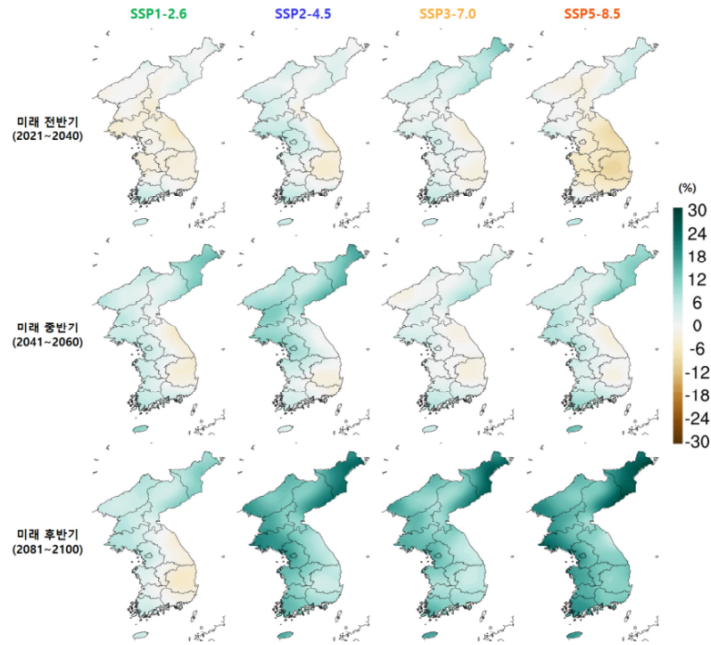


[그림 III-25] 한반도 SSP 시나리오에 따른 현재(1995~2014년) 대비 미래 전반기(2021~2040년), 미래 중반기(2041~2060년), 미래 후반기(2081~2100년)의 연평균기온 변화(℃)

2) 강수

미래 후반기의 한반도 평균강수량은 온실가스 배출 정도에 따라 현재 대비 +2~13% 증가할 것으로 전망되며, 미래 전반기 강수량은 현재와 비슷하고 미래 후반기에 고탄소 시나리오를 중심으로 증가할 것으로 전망되며, 강수량 변화 경향은 지역에 따라 편차가 심하다.

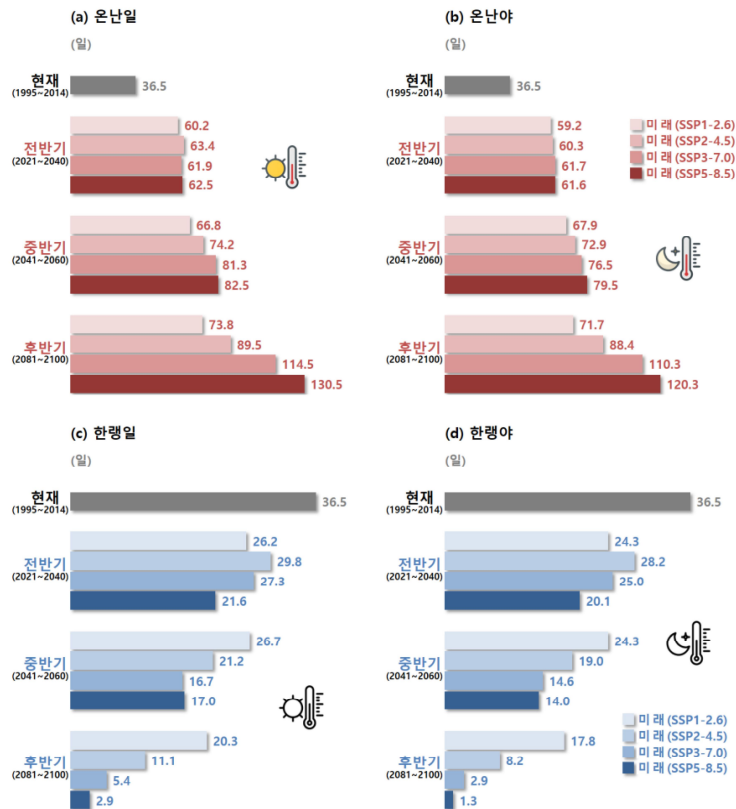
- SSP1-2.6은 미래 후반기에 한반도 북쪽은 강수량이 증가이 증가하고 남쪽은 감소하며, 나머지 시나리오는 모두 한반도 전역에서 강수량이 증가하고 북부지역에서 비교적 더 많은 증가폭을 보임



[그림 Ⅲ-26] 한반도의 SSP 시나리오에 따른 현재(1995~2014년) 대비 미래 전반기(2021~2040년), 미래 중반기(2041~2060년), 미래 후반기(2081~2100년)의 평균 강수량 변화(%)

3) 극한기후지수(기온)

미래 한반도 지역에서 극한 고온현상은 증가하며, 극한 저온현상은 감소할 것으로 전망되며, 일 최고·최저 기온의 연중 최대·최솟값은 모두 상승할 것으로 전망된다.

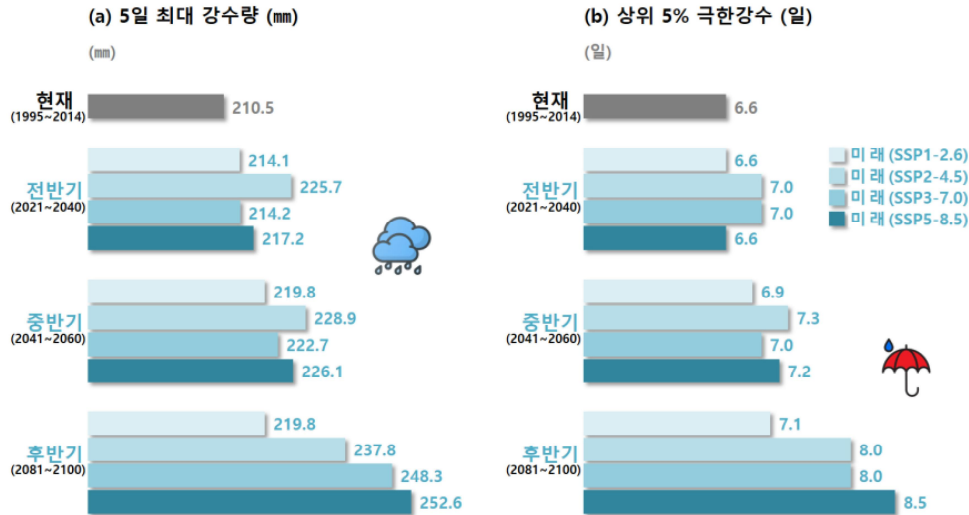


[그림 Ⅲ-27] 현재(1995~2014년)와 미래 기간별 한반도 온난일(a)과 온난야(b), 한랭일(c)과 한랭야(d) 전망. (빨간색은 극한 고온, 파란색은 극한 저온현상을 의미)

4) 극한기후지수(강수)

미래 전반기 한반도 강수량은 큰 변화가 없으나 극한 강수는 다소 증가할 것으로 전망되며, 미래 후반기에 뚜렷한 증가가 전망된다.

- SSP1-2.6의 경우 미래 극한 고온현상 뿐만 아니라 극한 강수현상의 변화폭도 SSP5-8.5의 1/3수준에 그치며, 이는 기후변화 대응 노력이 필요함을 시사함



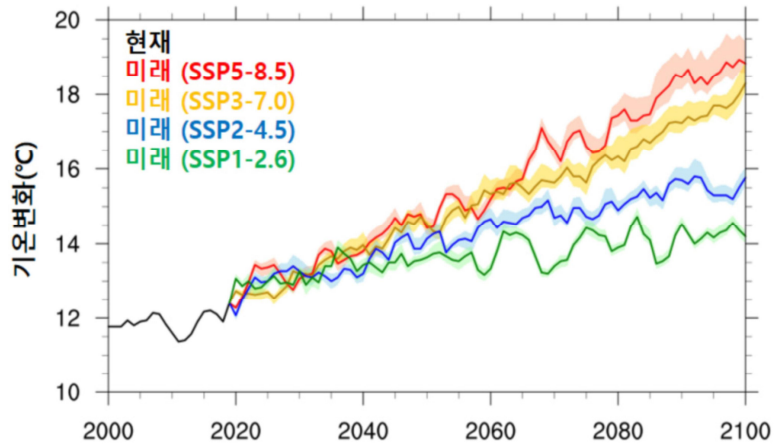
[그림 III-28] 현재(1995~2014년)와 미래 기간별 한반도 5일 최대강수량(mm)(좌)과 상위 5% 극한 강수량(일)(우) 전망

③ 남한상세 미래 전망정보

1) 기온

21세기 후반기의 우리나라 연평균기온은 온실가스 배출 정도에 따라 현재 대비 +2.3~6.3℃ 상승할 것으로 전망된다.

- SSP5-8.5에서 연평균기온은 현재 대비 21세기 전반기에 +1.5℃(±0.1℃) 상승하며, 기온 상승 추세가 강해진 21세기 후반기에 +6.3℃(±0.4℃) 상승할 것으로 전망
- SSP1-2.6에서 연평균기온은 현재 대비 21세기 전반기에 +1.3℃(±0.1℃) 상승하며, 기온 상승 추세가 약해진 21세기 후반기에 +2.3℃(±0.1℃) 상승하는데 그쳐, 탄소 배출을 적극적으로 감축하는 경우에 확연한 기온변화의 억제를 기대할 수 있음

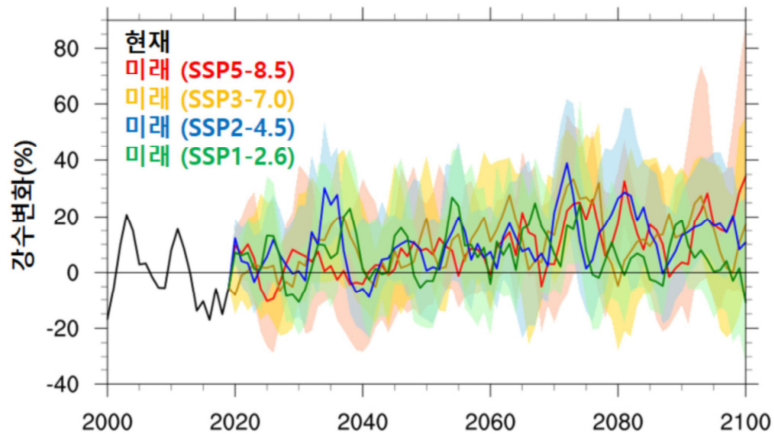


[그림 III-29] 현재(2000~2019년) 대비 2000~2100년의 우리나라 연평균기온 변화(°C)
(실선은 앙상블 평균값을 의미하며 음영은 5개 모델 앙상블의 범주를 의미함)

2) 강수

21세기 후반기의 우리나라 평균 강수량은 온실가스 배출 정도에 따라 현재 대비 +3~18% 증가할 것으로 전망되며, 21세기 후반기, 강수일수는 시나리오에 따라 5.6일~6.0일 감소 전망된다.

- SSP5-8.5에서 평균 강수량은 현재 대비 21세기 후반기에 +18%(±18%)로 급증하나 모델 앙상블의 범주가 매우 큼
- SSP1-2.6에서 평균 강수량은 현재 대비 21세기 후반기에 +3%(±8%) 증가하여 SSP5-8.5에 비해 강수증가가 상당히 억제될 것으로 전망

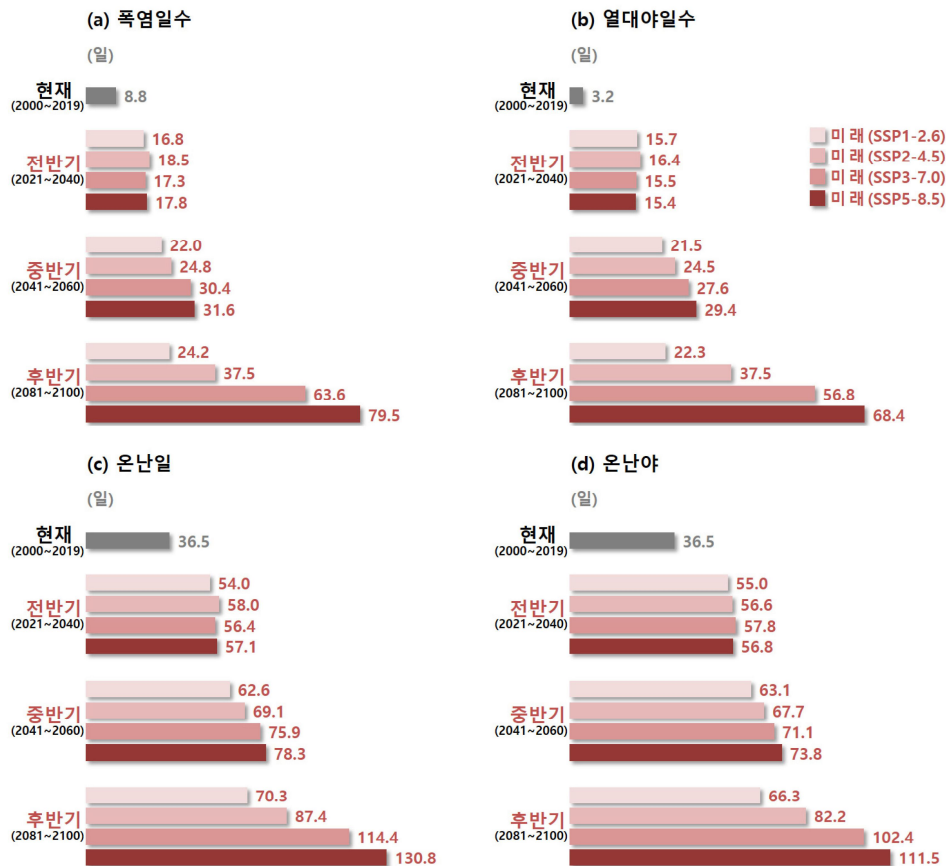


[그림 III-30] 현재(2000~2019년) 대비 2000~2100년의 우리나라 평균 강수량 변화(%)

3) 극한기후지수(기온)

미래 우리나라 극한 고온현상은 모든 지역에서 현재 대비 증가하고 고탄소 시나리오 (SSP5-8.5)에서 비교적 증가추세가 뚜렷하다.

- 21세기 후반기, 시나리오에 따라 폭염일은 15.4일~70.7일(최대 9배), 온난일은 33.6일~94.2일(최대 3.5배) 증가하고 폭염일은 충청권, 온난일은 수도권에서 가장 큰 증가 전망
- 21세기 후반기, 시나리오에 따라 일 최고기온 연 최대값은 3.2℃~8.3℃ 상승하여 최고기온에 비해 더 크게 상승하며, 강원권과 충청권에서 가장 큰 증가 전망

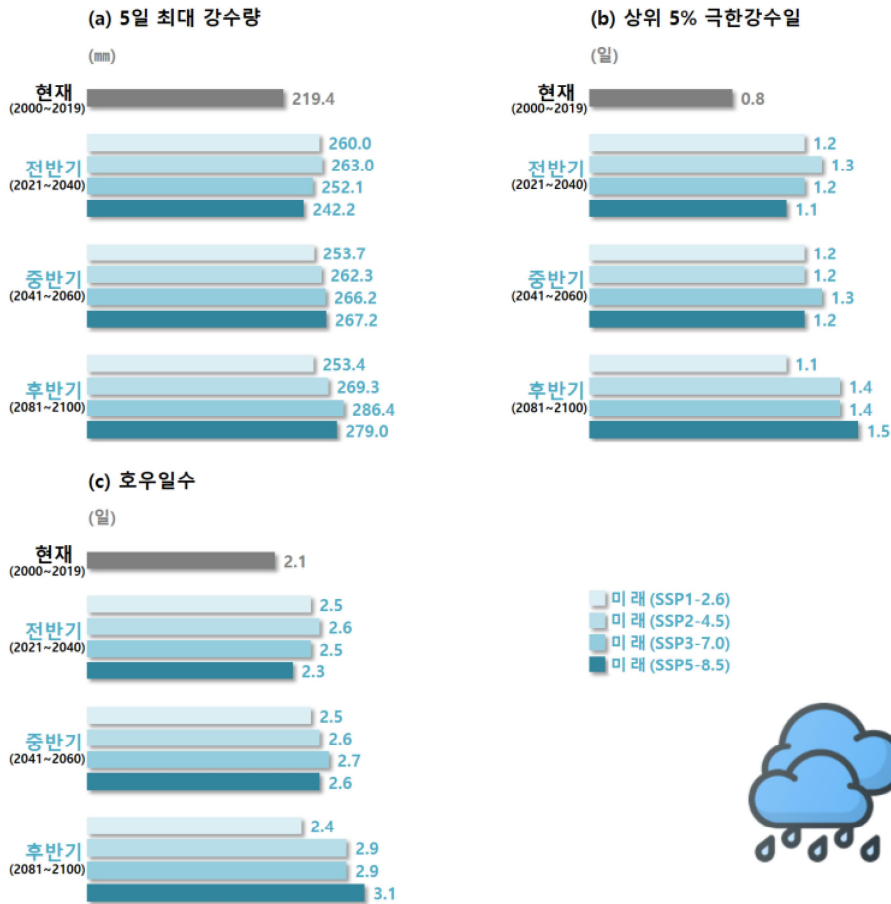


[그림 III-31] 현재(2000~2019년)와 미래 기간별 우리나라 폭염일(a)과 열대야일(b), 온난일(c)과 온난야(d) 발생일 변화

4) 극한기후지수(강수)

미래 우리나라 극한 강수현상은 현재 대비 증가하고 21세기 후반기에 고탄소 시나리오(SSP5-8.5)에서 비교적 증가추세가 뚜렷하다.

- 고탄소 시나리오(SSP5-8.5)의 경우, 극한 강수현상이 21세기 전반기에 큰 변화가 없으나, 후반기에 급증
- 저탄소 시나리오(SSP1-2.6)는 21세기 전반기부터 후반기까지 극한 강수현상 발생 빈도에 큰 변화가 없음



[그림 III-32] 현재(2000~2019년)와 미래 기간별 우리나라의 5일 최대 강수량(a)과 상위 5% 극한강수일(b), 호우일수(c) 발생일 변화

<표 III-4> 현재 및 미래 평균기온(°C) 및 강수량(%) 변화

구분		전지구(135km)		한반도(25km)		남한상세(1km)	
현재 (전지구/한반도: 1995~2014, 남한: 2000~2019)		기온	강수량	기온	강수량	기온	강수량
21세기 전반기 (2021~2040)	SSP1-2.6	+1.2	+3%	+1.6	-1%	+1.3	+5%
	SSP2-4.5	+1.3	+3%	+1.5	+1%	+1.2	+7%
	SSP3-7.0	+1.2	+2%	+1.5	+2%	+1.3	+6%
	SSP5-8.5	+1.3	+3%	+1.8	-2%	+1.4	+1%
21세기 중반기 (2041~2060)	SSP1-2.6	+1.7	+4%	+1.8	+3%	+1.6	+7%
	SSP2-4.5	+2.0	+4%	+2.5	+6%	+2.2	+7%
	SSP3-7.0	+2.2	+4%	+3.1	+2%	+2.7	+7%
	SSP5-8.5	+2.4	+5%	+3.2	+4%	+2.8	+6%
21세기 후반기 (2081~2100)	SSP1-2.6	+1.9	+5%	+2.6	+3%	+2.3	+4%
	SSP2-4.5	+3.0	+7%	+3.9	+13%	+3.5	+15%
	SSP3-7.0	+4.3	+8%	+5.9	+12%	+5.4	+13%
	SSP5-8.5	+5.2	+10%	+7.0	+15%	+6.3	+16%

③ 행정구역별 미래 전망정보

기후변화의 영향이 지역 및 부문별로 다르게 나타나고 있어서 기후변화 취약성 및 영향 분석·평가 등을 위해 상세 지역별로 미래 기후변화 전망정보가 요구되고 있다.

이에 SSP 남한상세(1km)를 기반으로 3,500여개 읍·면·동, 260여개 시·군·구, 17개 광역시·도의 현재 및 미래 전망정보(기후요소, 극한기후지수, 부문별 응용지수, 계절길이 등)를 산출하여 기후정보포털을 통해 서비스하고 있다. 또한 지방 기후위기 적응대책 지원을 위해 「지역 기후변화 전망보고서」 발간하여 상세 분석 정보도 함께 제공하고 있다.

아래 전망정보는 2022년 12월 발간된 「지역 기후변화 전망보고서」 내용으로, 2023년 12월 업데이트된 내용을 제공 예정이며 기후정보포털에서 확인할 수 있다.

1) 연평균기온

- 21세기 후반기 연평균기온이 가장 높은 지역은 SSP1-2.6(18.3℃)과 SSP5-8.5(21.9℃)에서 모두 제주특별자치도로 전망됨
- 21세기 후반기 연평균기온은 온실가스 배출 정도에 따라 현재 대비 2.2~6.7℃ 증가할 것으로 전망됨
 - SSP1-2.6 시나리오의 경우, 현재 대비 21세기 후반기에 연평균기온이 가장 많이 증가하는 지역은 서울특별시 등 7곳으로 전망됨(2.4℃ 증가)
 - SSP5-8.5 시나리오의 경우, 현재 대비 21세기 후반기에 연평균기온이 가장 많이 증가하는 지역은 서울특별시, 경기도로 전망됨 (6.7℃ 증가)

2) 연평균 최고기온

- 21세기 후반기 연평균 최고기온이 가장 높은 지역은 SSP1-2.6(22.4℃)과 SSP5-8.5(26.5℃)에서 모두 대구광역시로 전망됨
- SSP1-2.6 시나리오의 경우, 현재 대비 21세기 후반기에 연평균 최고기온이 가장 많이 증가하는 지역은 서울특별시 등 6곳으로 전망됨(2.5℃ 증가)
- SSP5-8.5 시나리오의 경우, 현재 대비 21세기 후반기에 연평균 최고기온이 가장 많이 증가하는 지역은 서울특별시로 전망됨(6.7℃ 증가)

3) 연평균 최저기온

- 21세기 후반기 연평균 최저기온이 가장 높은 지역은 SSP1-2.6(15.2℃)과 SSP5-8.5(18.9℃)에서 모두 제주특별자치도로 전망됨
- SSP1-2.6 시나리오의 경우, 현재 대비 21세기 후반기에 연평균 최저기온이 가장 많이 증가하는 지역은 서울특별시 등 5곳으로 전망됨(2.4℃ 증가)

- SSP5-8.5 시나리오의 경우, 현재 대비 21세기 후반기에 연평균 최저기온이 가장 많이 증가하는 지역은 서울특별시, 인천광역시로 전망됨(6.7℃ 증가)

4) 연강수량

- 21세기 하반기 연강수량이 가장 높은 지역은 SSP1-2.6(1910.7mm)과 SSP5-8.5(2137.3mm)에서 모두 제주특별자치도로 전망됨
- SSP1-2.6, SSP5-8.5 시나리오 모두 현재 대비 21세기 후반기에 연강수량이 가장 많이 증가하는 지역은 제주특별자치도로 전망됨(각각 152.2, 378.8mm 증가)

다. 기후변화 시나리오(SSP) 기반 해양 미래 전망정보

전 세계 해양은 지구 표면의 71%를 덮고 있으며, 지구상 물의 약 97%를 포함하고 있다. 지구의 육지 가운데 약 10%는 빙하 또는 빙상으로 덮여있다. 해양과 빙권은 고유한 서식처를 제공하고, 물, 에너지 및 탄소를 전 지구적으로 교환하면서 기후시스템의 다른 구성요소와 상호 연결된다.

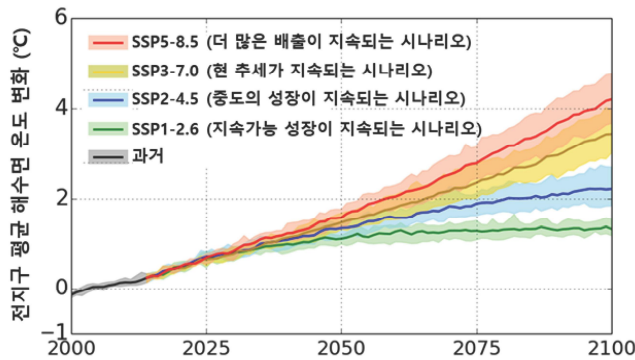
1993년 이후 해양 온난화 속도는 2배 이상이고, 해양 고수온 빈도는 1982년 이후 2배로 늘었으며 더 많은 이산화탄소(CO₂) 흡수로 인해 해양표면의 산성화가 가속화되고 있다.

해양에서의 기후변화는 점차 가속화되는 추세이며 경제적 손실을 비롯한 사회 전반적 영향이 발생한다. 기상청에서는 IPCC 국제 표준 시나리오(SSP)에 따른 전지구 및 한반도 주변 해역의 요소별(해수면 온도, 해수면 고도, 해빙면적, 표층염분) 미래 전망정보를 제공함으로써 해양 부문의 기후위기 및 탄소중립 정책 및 연구를 지원하고 있다.

① 전지구 해양 미래 전망정보

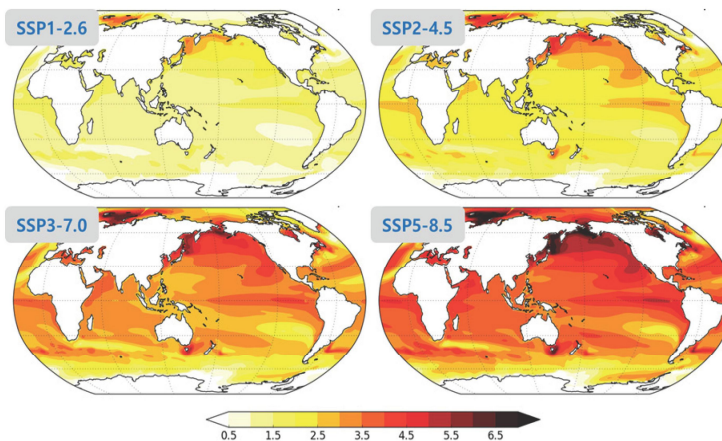
1) 해수면 온도

21세기 말 전지구 평균 해수면 온도는 온실가스 배출 정도에 따라 현재 대비 +1.4~3.7°C 상승할 것으로 전망되며, SSP5-8.5 경우 전지구 평균 해수면 온도는 10년당 약 +0.44°C씩 증가할 것으로 전망된다.



[그림 III-33] 현재(1995~2014년) 대비 2000~2100년의 연도별 전지구 평균 해수면 온도 변화(°C)

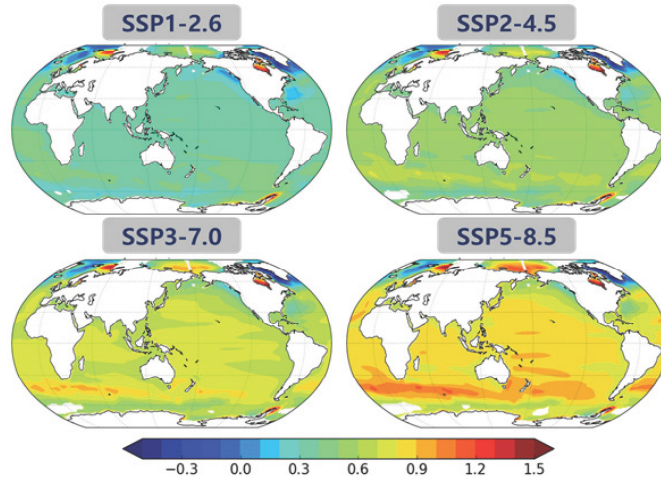
또한, 북반구 중위도 및 엘니뇨 발생 해역에서 해수면 온도의 상승 폭이 크게 나타난다.



[그림 III-34] SSP에 따른 현재 대비 21세기 말의 해수면 온도 변화(°C)

2) 해수면 고도

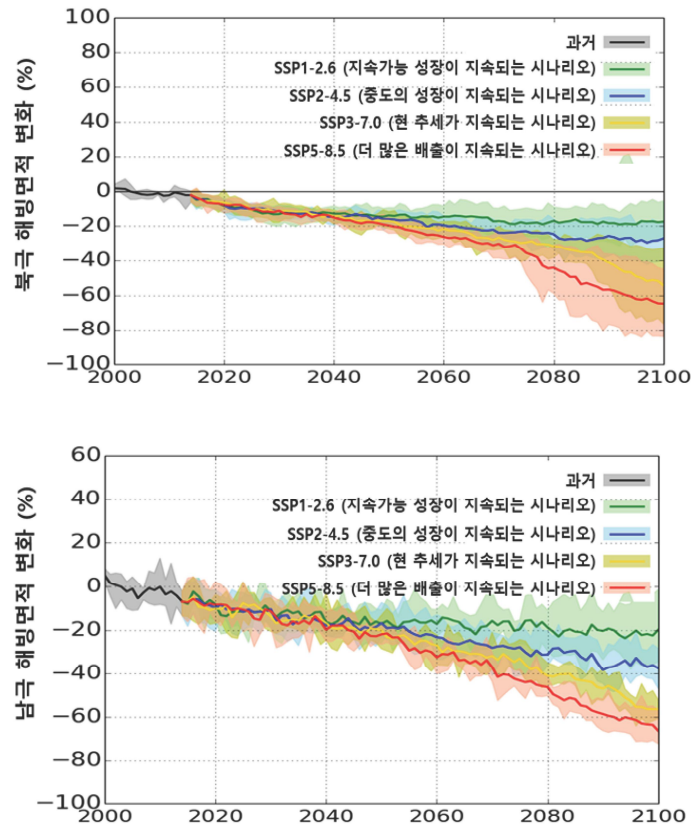
21세기 말의 전지구 해수면 고도는 온실가스 배출 정도에 따라 현재 대비 +46~87cm 상승할 것으로 전망된다.



[그림 III-35] SSP에 따른 현재 대비 21세기 말의 해수면 고도 변화(m)

3) 해빙

SSP1-2.6과 SSP5-8.5 시나리오 모두에서 21세기 말의 해빙면적은 현재 대비 크게 감소할 것으로 전망되며, 북극지역 높은 기온 상승의 영향으로 북극 해빙은 남극에 비해 감소 경향이 크게 나타난다. 특히, SSP5-8.5 시나리오에서 21세기 말 북극과 남극의 여름철 해빙은 거의 사라질 것으로 전망된다.

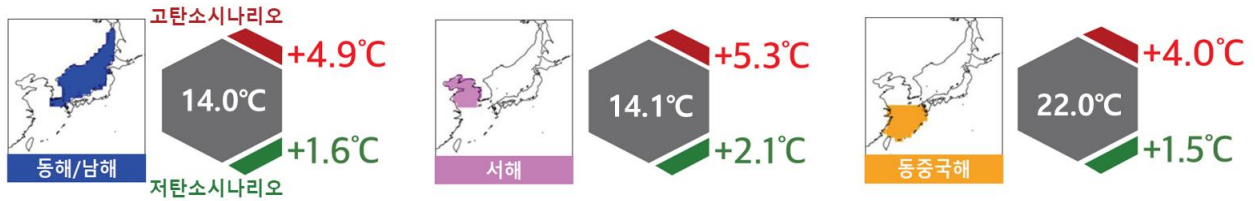


[그림 III-36] 현재 대비 2000~2100년의 연도별 북극(위)과 남극(아래)의 해빙 변화(%)

② 한반도 주변해역 미래 전망정보

1) 해수면 온도

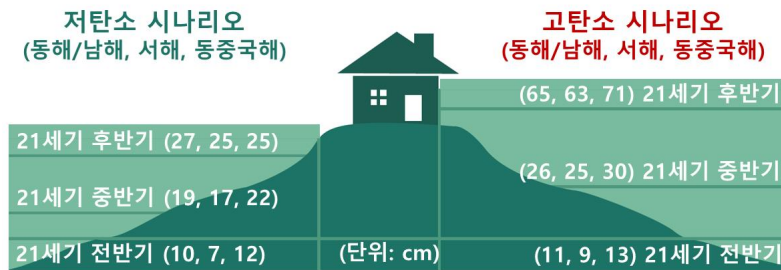
21세기 후반기 한반도 주변 해역의 평균 해수면 온도는 온실가스 배출정보에 따라 현재(1995~2014년) 대비 1.8~4.5℃ 상승하고, 해역별로 서해, 동해/남해, 동중국해 순서로 크게 상승할 것으로 전망된다.



[그림 III-37] 한반도 21세기 후반기 해수면 온도 전망

2) 해수면 고도

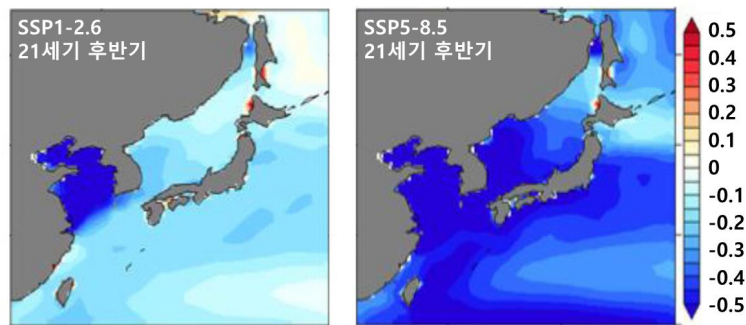
21세기 후반기 한반도 주변 해역의 평균 해수면 고도는 현재 대비 28~66cm 상승할 것으로 전망되며, 고탄소 시나리오에서 저탄소 시나리오에 비해 2.5배 정도 더 크게 전망된다.



[그림 III-38] 한반도 해수면높이 전망

3) 표층염분

21세기 후반기 한반도 주변 해역의 평균 표층염분은 현재 대비 0.18~0.48psu¹⁵⁾ 감소할 것으로 전망되며, 해역별로 서해, 동중국해, 동해/남해 순으로 많은 감소가 전망된다. 특히 서해에서 먼미래에 0.45(저탄소) ~1.21(고탄소)psu의 많은 표층염분 감소가 전망된다.

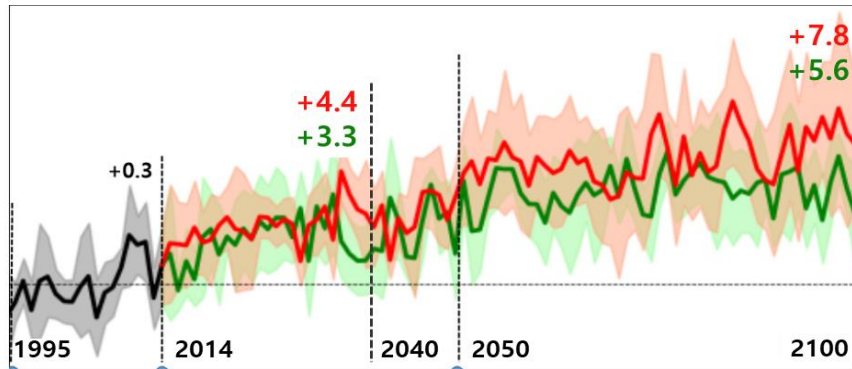


[그림 III-39] 한반도 표층염분 변화 전망

15) practical salinity unit

4) 표층해류

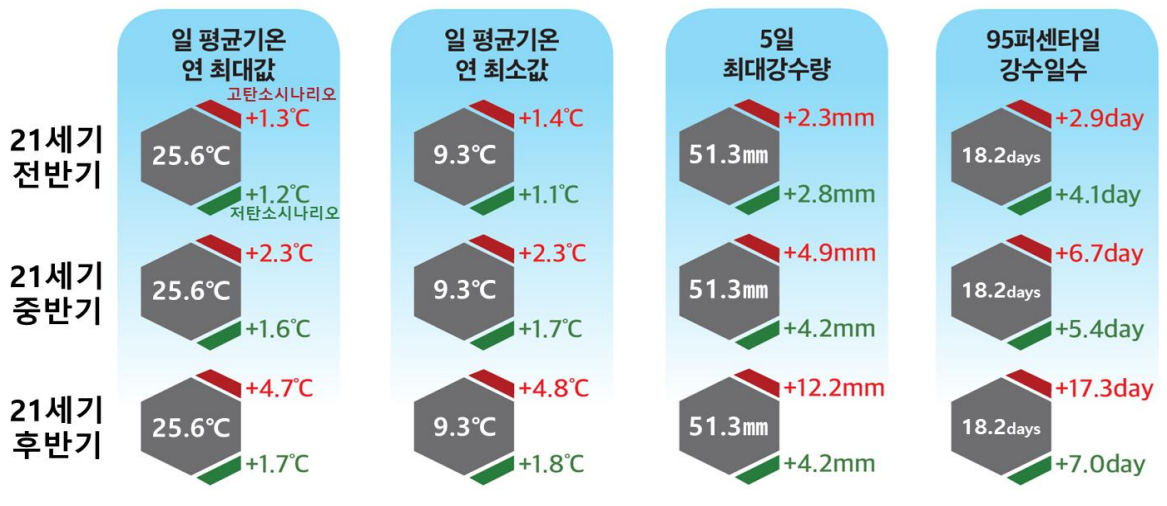
21세기 후반기 한반도 주변 해역의 평균 표층유속은 현재 대비 5.6%~7.8% 상승할 것으로 전망되며, 동해/남해에서 먼미래에 6.8~15.3%로 다른 해역에 비해 많이 증가할것으로 전망된다.



[그림 III-40] 한반도 표층해류 변화 전망

5) 해상대기

21세기 후반기 한반도 주변 해역 해상 대기의 극한지수 변화는 일평균 기온의 연 최대값은 1.7~4.7℃, 연최소값은 +1.8~4.8℃ 상승할 것으로 전망되며, 5일최대강수량은 4.2~12.2mm, 상승, 95퍼센타일 강수일수는 7~17.3일 많아질 것으로 전망된다.



[그림 III-41] 시나리오에 따른 한반도 주변 해역 해상대기 극한지수 변화 전망

라. 미래 전망정보 관련 발간물

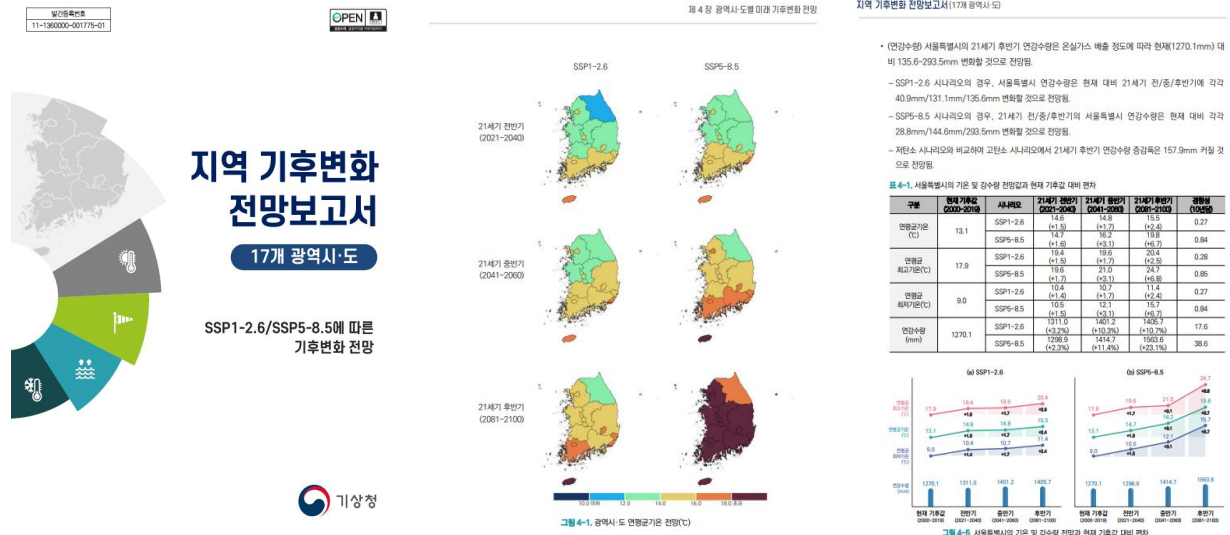
SSP 기후변화 시나리오 기반 미래 기후변화 전망보고서는 모델 해상도 및 영역에 따라 전지구(135km), 한반도(25km), 남한(1km) 및 행정구역(광역시도 등)으로 구분되어 있다.

IPCC 제6차 평가보고서 대응을 위해 「전지구 기후변화 전망보고서», 「한반도 기후변화 전망보고서», 「남한상세 기후변화 전망보고서」를 발간하여, [기후정보포털(<http://climate.go.kr>) > 열린마당 > 발간물 > 기후변화시나리오]에 등재중이다.

<표 III-5> 각 보고서별 설명

	전지구 기후변화 전망보고서	한반도 기후변화 전망보고서	남한상세 기후변화 전망보고서
해상도	135km	25km	1km
영역	전지구, 북/남반구, 주요대륙별	동아시아 및 한반도	남한평균 및 6개권역별
현재기후	1995~2014년		2000~2019년
미래기간	2021~2100년		
변수	기온(평균/최고/최저), 강수량, 해수면 온도, 해수면 고도, 해빙, 극한기후지수14종	기온(평균/최고/최저), 강수량, 극한기후지수12종	기온(평균/최고/최저), 강수량, 극한기후지수22종, 자연계절변화
보고서 발간	전지구 기후변화 전망보고서(2019년), 개정판(2020년)	한반도 기후변화 전망보고서(2020년), 개정판(2021년)	남한상세 기후변화 전망보고서(2021년), 개정판(2022년)
	SSP2종에 대한 전망보고서 발간 후, SSP 4종 전망보고서 개정판 발간		
			

또한, 상세 지역별로 미래 기후변화 전망정보가 요구됨에 따라 1km 남한상세 시나리오를 행정구역 값으로 변환하여 17개 광역시도별 미래 전망정보(기온, 강수량 등), 극한기후지수(폭염일수, 호우일수 등), 영향정보(계절길이, 아열대 등의 기후변화) 등을 수록한 「지역 기후변화 전망보고서」를 발간하였다.



[그림 III-42] 17개 광역시도 지역 기후변화 전망보고서

마. 부문별 기후변화 영향정보

기후변화는 오랜 기간(통상적으로 10년 이상의 긴 기간) 동안 통계적으로 유의한 수준의 기후 평균상태 또는 변동성의 변화를 나타낸다. 기후변화는 사회와 대기, 해양, 빙권, 생태계 등 자연계에 영향을 미치고 있으며, 다른 환경적, 사회적 요인들과 상호작용을 한다. 이렇듯 기후변화 영향이란 자연적이거나 인공적인 원인으로 발생한 기후의 변화가 자연과 사회 시스템에 미치는 영향을 의미한다.



[그림 III-43] 기후변화 영향정보 개념도

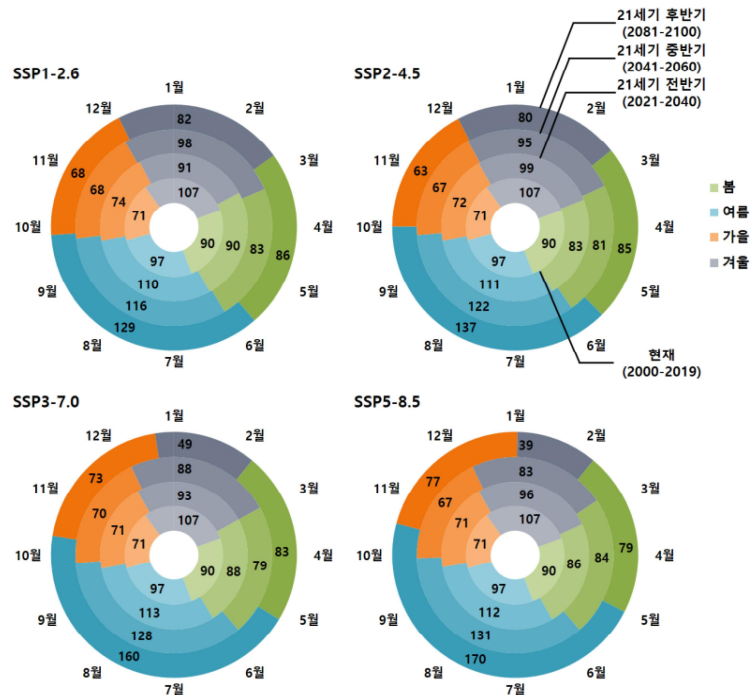
① 기상·기후 부문의 기후변화 영향

아래 내용은 '기상·기후 부문' 기후변화 영향정보로 농업, 축산, 해양, 산림 등 다양한 부문의 기후변화 영향 정보는 [기후정보포털(<http://climate.go.kr>)] 기후변화 영향정보에서 확인할 수 있다.

1) 계절길이

일평균기온을 이용해 자연계절 구분 기준¹⁶⁾에 따라 분석한 결과, 우리나라(6개 지역)는 지난 109년간(1912~2020년) 여름은 20일 길어지고 겨울은 22일 짧아졌으며 봄과 가을은 큰 변화가 없다. 과거 30년에 비해 최근 30년의 봄과 여름 시작일은 각각 17일, 11일 빨라졌으며 가을과 겨울 시작일은 각각 9일, 5일 늦어졌다. 고탄소 시나리오(SSP5-8.5)에 따르면 겨울은 21세기 후반기에 39일간 유지되며 여름은 170일간 유지될 것으로 전망되며, 저탄소 시나리오(SSP1-2.6)의 경우, 겨울은 21세기 후반기에 25일 짧아져서 82일간 유지되며, 여름은 32일 증가하여 129일간 유지될 것으로 전망된다.

고탄소 시나리오에서 21세기 후반기에 내륙지역 중 여름이 가장 긴 지역은 전라권(177일)과 수도권(173일)으로 약 6개월간 지속되며, 겨울이 가장 긴 지역은 강원권(84일)으로 전망된다.



[그림 Ⅲ-44] 미래 우리나라 계절길이 전망

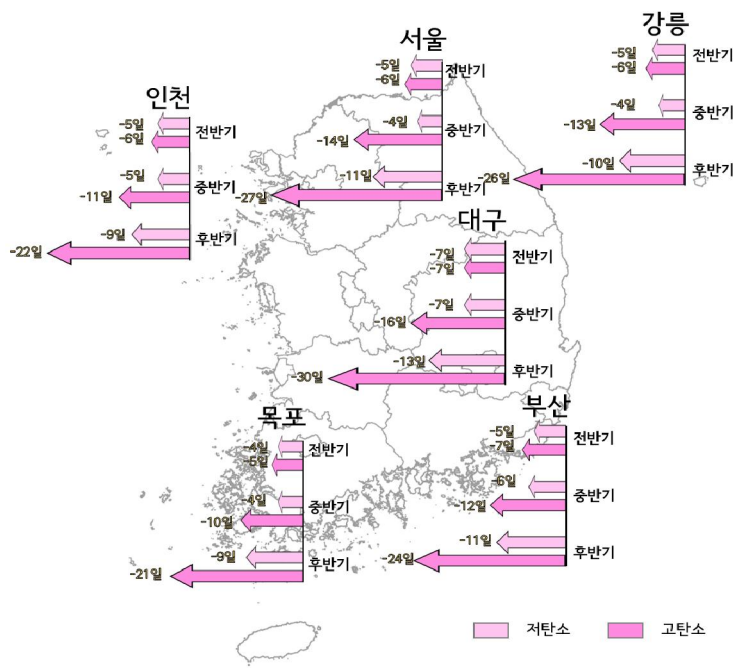
2) 봄꽃개화

SSP 남한상세 시나리오에 과거 2, 3월 평균기온과 봄꽃 개화일의 상관식을 적용하여 봄꽃 3종(개나리, 진달래, 벚꽃)의 개화일 전망 분석 결과 미래 봄꽃 개화일은 현재(1991~2020년) 대비 21세기 전/중/후반기에 각각 5~7일/5~13일/10~27일 당겨질 것으로 전망된다.

기온의 영향을 많이 받는 개화일은 기온 증가폭이 큰 고탄소 시나리오에서 21세기 후반기에 23~27일, 온실가스를 현저히 감축하는 저탄소 시나리오에서는 10~12일 당겨져 고탄소 시나리오에 비해 개화시기 변화가 적게 나타난다.

16) 봄: 일평균기온이 5℃ 이상 올라간 후 다시 내려가지 않는 첫날
 여름: 일평균기온이 20℃ 이상 올라간 후 다시 내려가지 않는 첫날
 가을: 일평균기온이 20℃ 미만으로 내려간 후 다시 올라가지 않는 첫날
 겨울: 일평균기온이 5℃ 미만으로 내려간 후 다시 올라가지 않는 첫날

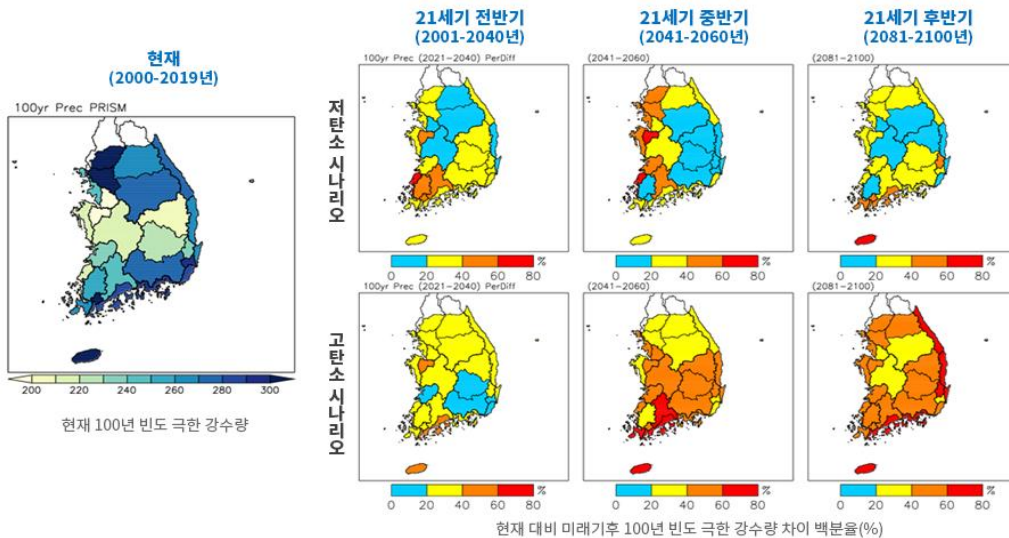
봄꽃 종류에 따라서는 개나리/진달래/벚꽃의 개화시기가 고탄소 시나리오에서 21세기 후반기에 각각 23일/27일/25일로 당겨지고 진달래의 경우, 개나리보다 늦게 개화하는 것이 일반적이거나 21세기 후반기에는 개나리와 진달래가 동시 개화하거나, 진달래가 더 빨리 개화할 것으로 예상된다.



[그림 III-45] 기후변화 시나리오에 따른 관측지점별 벚꽃 개화시기 전망

3) 극한강수

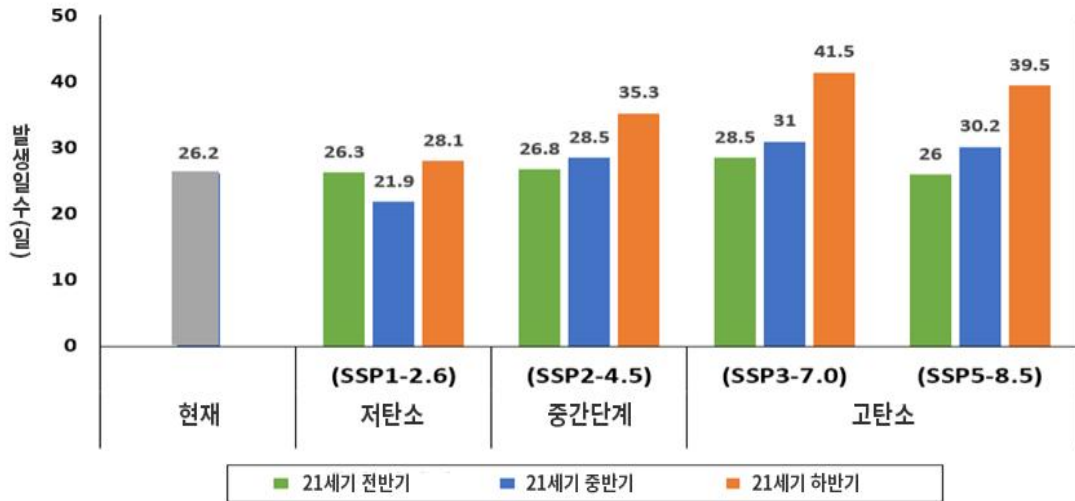
우리나라 109년 기후변화 분석자료에 의하면, 지난 109년간 강한 강수는 증가하고 약한 강수는 감소하였으며, 미래에도 극한 강수현상을 증가할 것으로 전망된다. 재난 및 인명피해의 주요 원인 중의 하나인 하천 홍수발생과 관련된 유역별 극한 강수량의 미래변화를 분석한 결과, 고탄소 시나리오(SSP5-8.5)의 경우 100년 재현빈도 극한 강수량 변화율은 현재 대비 21세기 전반기/중반기/후반기에 각각 29%, 46%, 53% 증가하는 것으로 전망된다.



[그림 III-46] 현재 대비 미래 권역별 100년 재현빈도 극한 강수량 변화 전망

4) 대기정체

대기정체는 상하층의 풍속이 약하여 공기의 순환이 원활하지 않은 대기 상태를 말하며, 이는 외부로부터 유입된 미세먼지가 쉽게 빠져나가지 못하게 하는 역할을 한다. 특히 겨울철에는 한반도 주변에 대기정체가 자주 발생하는 동시에 중국으로부터 고농도의 미세먼지가 유입되어 한반도에 연무 현상이 자주 발생한다.(Lee et al., 2011) 우리나라 겨울~봄철 고농도 미세먼지현상의 큰 원인 중 하나인 대기정체에 관한 미래 변화를 분석한 결과, 미래의 겨울~봄철 대기정체 발생일은 현재(1995~2014년, 26.2일) 대비 21세기 후반기(2081~2100년)에 최대 58%까지 증가할 것으로 전망된다.



[그림 III-47] 미래 대기정체 발생일수 변화

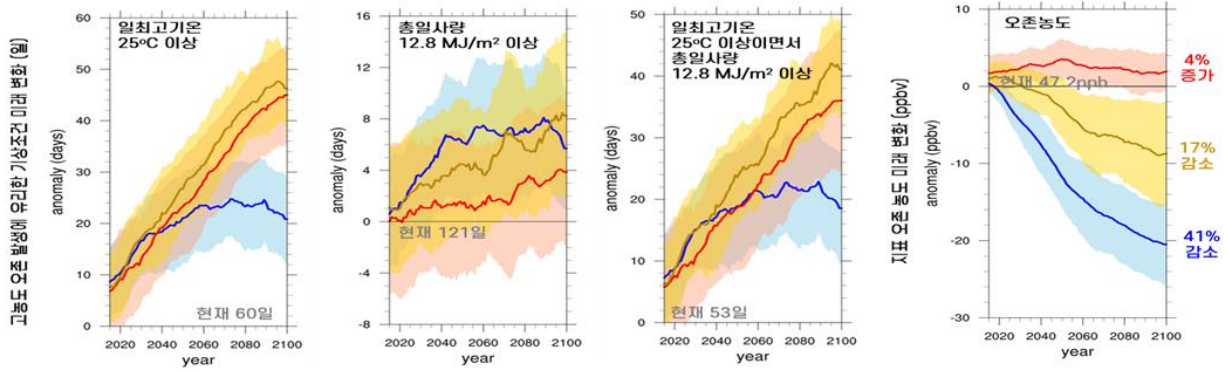
5) 고농도 오존발생

우리나라 5~9월 호흡기·심혈관 질환을 유발하는 고농도 지표 오존 발생에 영향을 주는 기상조건¹⁷⁾에 대한 미래전망을 분석한 결과, 고탄소 시나리오(SSP3-7.0)에서는 21세기 후반기(2081~2100년) 5~9월에 현재(1995~2014년) 대비 일최고기온은 3.8 °C, 일사량은 4.5 W/m² 증가하며, 고농도 오존 발생에 유리한 기상 조건일이 34일 증가가 예상된다. 이에 우리나라 오존의 평균 농도도 4% 증가될 것으로 전망된다.

고탄소 시나리오에서도 대기질이 크게 개선되는 경우(SSP3-7.0- lowNTCF¹⁸⁾)에는 일최고기온은 4.2 °C, 일사량은 15.4 W/m² 증가, 고농도 오존 발생 기상조건일이 39일 증가하지만, 대기질 개선의 효과가 크게 작용하여 우리나라 오존 농도는 17% 줄어드는 것으로 나타난다. 한편, 대기질 개선뿐만 아니라 온실가스 감축도 병행되는 저탄소 시나리오(SSP1-2.6)에서는, 우리나라 오존 평균 농도가 현재 대비 41%까지 크게 줄어듦으로 전망된다.

17) 오존이 발생하기 쉬운 조건(환경부, 2016): 기온 25 °C 이상, 상대습도 75 % 이하, 풍속 4 m/s 이하, 일사량 6.4 MJ/m² 이상

18) SSP3-7.0-lowNTCF(low Near-Term Climate Forcers): SSP3-7.0과 같은 고탄소 배출이 있지만 황산염·검댕·유기탄소 및 휘발성유기화합물 등의 화학성분 배출량은 산업화 이전처럼 낮은 상태를 가정



[그림 III-48] 고농도 오존발생에 유리한 기상조건의 발생일수 및 오존농도 미래 전망

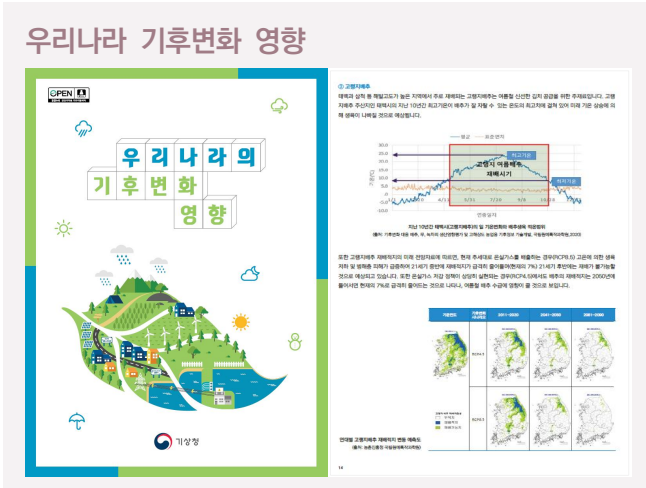
② 기후변화 응용정보

기후변화 시나리오 기반의 부문별(농업, 방재, 보건, 수자원, 산림, 동물생태) 기후변화 영향 및 취약성 평가 등에 손쉽게 활용할 수 있도록 재가공한 맞춤형 미래 전망정보이다.

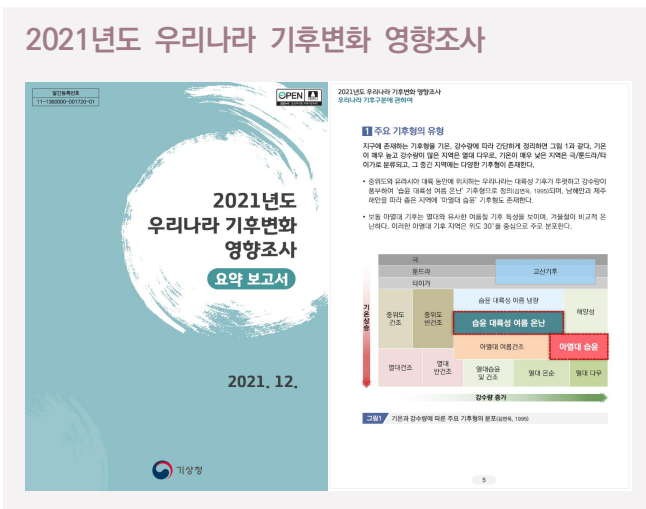
<표 III-6> 각 부문별 제공요소

	수자원	보건	농업	재해	산림	동물생태
생산 요소	중권역별 강수량 유출량, 잠재증발산량, 유형분석정보	열지수, 불쾌지수, 체감온도(AT), 체감추위지수, 열체감지수, Net Effective Temperature (NET), 열사병발생위험지수, 온열지수(WBGT)	생육온도일수, 유효적산온도, 식물기간, 작물기간, 무상기간, 작물 저온요구도, 온습도지수, 기후생산력지수, 난방도일, 냉방도일, 기준증발산량, 엽면수분지속기간	표준강수지수 (SPI), 독립호우사상	최저기온지수, 유효강우지수, 건조강도지수	물새류월동 환경지수, 기후변화 심각도지수, 강우열량지수
기간	2000~2100년	1950~2005년 2013~2100년	1971~2100년 2011~2100년	2012~2100년	2011~2100년	2011~2100년
시간 해상도	일/월	월	순(10년 평균)	월	연	연
공간 해상도	중권역(104개), 73개 지점	230개 시군구	230개 시군구, 격자(12.5km/1km)	73개 지점	230개 시군구	230개 시군구

③ 기후변화 영향정보 관련 발간물



- 내용: 부문별(농업·해양·산림·보건·사회 등) 관계 부처 및 연구기관에서 생산한 RCP 시나리오 기반의 기후변화 영향정보
- 제공시기: 단행본(2021)
- 제공경로: 기후정보포털(<http://climate.go.kr>) > 열린마당 > 발간물 > 기타



- 내용: 신(新) 기후평년값(1991~2020)과 가장 온난했던 최근 10년(2011~2020년)의 우리나라 총 66개 종관기상관측지점을 분석하여 우리나라 기후 구분을 제시
- 제공시기: 단행본(2021)
- 제공경로: 기후정보포털(<http://climate.go.kr>) > 열린마당 > 발간물 > 기타

바. 미래 전망정보 관련 보도자료 요약

2022.3.16.

온실가스 감축 없으면, 21세기 후반 봄꽃 2월에 필 수도

- 새로운 고탄소 시나리오에서 봄꽃 개화시기 23~27일 당겨져 -

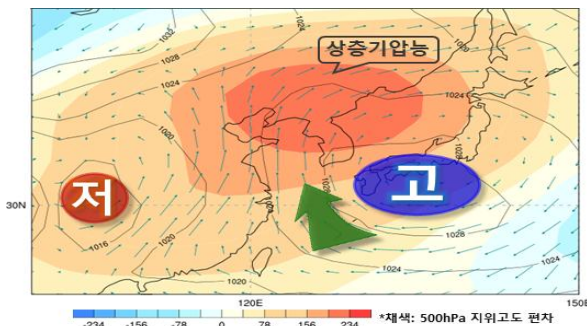
- 미래의 봄꽃 개화일은 현재(1991~2020년) 대비 21세기 전(2021~2040년)/중(2041~2060년)/후반기(2081~2100년)에 각각 5~7일/5~13일/10~27일 당겨질 것으로 전망된다.
- 봄꽃 종류에 따라서는 개나리/진달래/벚꽃의 개화시기가 고탄소 시나리오에서 21세기 후반기에 각각 23일/27일/25일로 당겨질 전망이다.
- 지역에 따른 차이도 나타나, 벚꽃의 경우, 21세기 후반기, 고탄소 시나리오에서 개화일이 대구 30일로 가장 많이 당겨지고(2월27일 개화), 서울/강릉/부산 순으로 각각 27일, 26일, 24일 당겨질 전망이다.

2022.4.29.

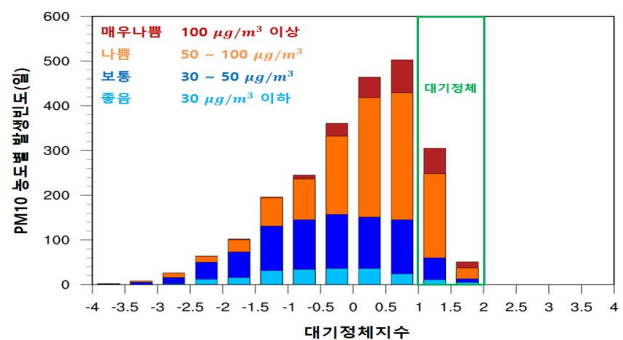
현재 추세면 21세기 말 대기정체¹⁹⁾ 발생일 최대 58% 늘어

- 동아시아 기후변화 시나리오를 활용한 대기정체 발생 전망 분석 -

- 미래의 겨울~봄철 대기정체 발생일은 현재(1995~2014년, 26.2일) 대비 21세기 후반기(2081~2100년)에 최대 58%까지 증가할 것으로 전망된다.
- 미래 대기정체 발생은 현재 대비 21세기 전반기(2021~2040년), 중반기(2041~2060년), 후반기 각각 최대 2.3일, 4.8일, 15.3일 증가하는 것으로 예상된다.



<대기정체시 기압배치 모식도>



<대기정체지수에 따른 미세먼지 농도별 발생일>

19) 대기정체는 공기를 이동·확산시키는 바람이 미약한 상태로 대기정체의 미래 변화는 국민 건강과 직결된 고농도 미세먼지 현상의 가능성을 가늠할 수 있는 중요한 정보임

2022.6.13.

온실가스 감축 없인 21세기 말 유역별 극한 강수량 최대 70% 이상 증가

- 상세 기후변화 시나리오를 활용한 유역별 홍수발생 가능성 분석 -

- 하천 홍수발생과 관련된 유역별 극한 강수량의 미래변화 분석결과를 보면, 고탄소 시나리오(SSP5-8.5)의 경우, 100년 재현빈도²⁰⁾ 극한 강수량 변화율은 현재(187.1~318.4 mm) 대비 21세기 전반기(2021~2040년)/중반기(2041~2060년)/후반기(2081~2100년)에 각각 약 29 % (21.4~174.3 mm)/46 % (56.0~334.8 mm)/53 % (70.8~311.8 mm) 증가하는 것으로 전망된다.
- 권역별로 살펴보면, 고탄소 시나리오에서 21세기 후반기에 100년 빈도 극한 강수량이 한강동해 권역은 약 73 %, 낙동강동해 권역은 약 69 % 증가할 것으로 전망된다. 제주도 권역은 다른 권역에 비해 증가폭이 가장 크게 나타나, 21세기 중반기에 약 78 % 증가하는 것으로 예상된다.
- 저탄소 시나리오(SSP1-2.6)의 경우에는 현재 대비 21세기 전/중/후반기에 100년 빈도 극한 강수량이 각각 약 31 % (14.4~162.6 mm)/31 % (29.5~168.0 mm)/29 % (18.9~136.0 mm) 증가하는 것으로 전망된다.

2022.6.30.

미래 해양기후변화 전망정보는 “기후정보포털”에서

- 고탄소 시나리오에서 21세기 후반기 전지구 해수면 온도 3.7 °C 상승 -

- 미래 21세기 후반기(2081~2100년) 해양기후변화 전망은 현재대비(1995~2014년) 전지구 평균한 해수면 온도가 저탄소 시나리오에서 1.3 °C, 고탄소 시나리오에서 3.7 °C 상승, 해수면 고도는 각각 48, 89 cm 상승하는 것으로 나타났다
- 극 지역 해빙(바다얼음) 면적도 크게 감소하여, 여름철 북극해빙은 모든 시나리오에서 21세기 중반기 이후, 여름철 남극해빙은 고탄소 시나리오에서 21세기 후반기에 거의 사라질 것으로 전망된다.
- 이번에 추가로 제공하는 전지구 평균 표층염분은, 고탄소 시나리오에서 21세기 후반기에 0.11~0.20 psu(practical salinity unit) 감소하는 것으로 전망된다.

20) 극한 강수량이 나타날 것으로 예측되는 기간으로, 재현빈도 100년은 100년에 한 번 나타날 극한 강수량을 의미

2022.12.28.

온실가스 감축 없으면, 21세기 말 우리나라 남부지방 겨울이 사라진다

- 새로운 시나리오에 따른 3,500여 개 읍면동별 기후변화 전망정보 제공 -

- (기온) 17개 광역시도의 연평균기온은 현재(10.5~16.1℃) 대비 21세기 후반기(2081~2100년)에 +2.2~6.7℃ 상승하고, 고탄소 시나리오의 경우 서울특별시와 경기도의 증가폭(6.7℃)이 가장 크게 나타났다.
- (강수량) 광역시도의 연강수량은 현재(1093.1~1758.5mm) 대비 21세기 후반기에 -10.2~+378.8mm로 지역별로 증감하는 경향이 다르게 나타났다. 21세기 후반기 고탄소 시나리오에서 제주특별자치도가 현재 대비 +378.8mm로 가장 많이 증가하는 것으로 전망되었다.
- (계절길이) 21세기 후반기로 갈수록 봄의 시작일은 빨라지고 여름은 길어지며, 겨울은 짧아지는 경향을 보였다. 21세기 후반기 고탄소 시나리오에서 강원도와 제주특별자치도의 여름이 현재(81일/129일) 대비 +82일로 가장 많이 길어지고, 전북·전남·경남·제주 등 8개 광역시도는 겨울이 없어지는 것으로 전망되었다.

2023.6.6.

온실가스 감축·대기질 개선하지 않으면, 21세기 말 고농도 오존 발생 기상조건(일) 최대 64% 증가

- 고농도 오존 발생에 유리한 기상조건일(기온 높고, 일사량 많은 날) 최대 34일 증가
 - 대기질 개선 및 온실가스 감축 시 현재 대비 오존 농도 40% 이상 줄일 수도

- 현재와 유사한 추세가 미래에도 지속되는 고탄소 시나리오(SSP3-7.0)에서는 21세기 후반기(2081~2100년) 5~9월에 현재(1995~2014년) 대비 일최고기온은 3.8℃, 일사량은 4.5 W/m² 증가하며, 고농도 오존 발생에 유리한 기상조건일이 34일 증가할 것으로 예상된다. 이에 우리나라 오존의 평균 농도도 4% 증가하는 것으로 나타났다.
- 반면, 고탄소 시나리오에서도 대기질이 크게 개선되는 경우(SSP3-7.0- lowNTCF²¹)에는 현재 대비 일최고기온은 4.2℃, 일사량은 15.4 W/m² 증가하고, 고농도 오존 발생 기상조건일이 39일 증가하지만, 대기질 개선의 효과가 크게 작용하여 우리나라 오존 농도는 17% 줄어드는 것으로 나타났다.
- 한편 대기질 개선뿐만 아니라 온실가스 감축도 병행되는 저탄소 시나리오(SSP1-2.6)에서는, 우리나라 오존 평균 농도가 현재 대비 41%까지 크게 줄어든 것으로 전망되었다.

21) SSP3-7.0-lowNTCF(low Near-Term Climate Forcers): SSP3-7.0과 같은 고탄소 배출이 있지만 황산염·검댕·유기탄소 및 휘발성유기화합물 등의 화학성분 배출량은 산업화 이전처럼 낮은 상태를 가정

2023.8.1.

온실가스, 이대로면 극한 열스트레스 발생일 11배 증가

- 현재 9일 미만으로 발생하는 극한 열스트레스일이 21세기 후반기에는 90일 이상으로 늘어날 것 -
- 한반도, 중국, 일본을 포함한 동아시아 전 지역에서 여름철 평균 열스트레스지수는 현재(26.1°C) 대비 21세기 후반기에 3.1~7.5°C까지 상승하는 것으로 전망되었다.
- 극한 열스트레스일²²⁾도 현재 4.7일에서 42.8~103.8일로 증가하고, 최대 지속 기간은 현재 2.4일에서 15.1~68.2일까지 늘어나는 것으로 나타났다. 특히 한반도는 동아시아 6개 권역 중 중국 북동부지역 다음으로 열스트레스 지수가 가장 많이 증가(3.2~7.8°C)하였다.
- 수도권을 비롯한 권역별 차이도 나타났으나, 전 권역에서 현재 9일 미만으로 발생하는 극한 열스트레스일이 21세기 후반기에는 90일 이상, 6월 중순에 시작하여 9월 중~하순까지 발생하고, 최대 지속 기간도 현재 3~4일에서 70~80일로 늘어나는 것으로 전망되었다.

2023.8.16.

중소도시의 폭염 증가 추세, 대도시 넘어서

- 지난 48년간, 중소도시 폭염은 10년당 1.8일 증가해 대도시의 증가 추세(1.6일)를 넘어섬 -
- **[도시화 효과]** 지난 48년간 우리나라 16개 도시의 연평균기온은 10년당 0.37°C 상승하였고, 기온 상승의 약 24~49%는 도시화 효과로 인한 것으로 분석되었다. 특히, **중소도시의 도시화 효과는 29~50%로 대도시의 22~47%에 비해 큰 것으로 추정되었다.** 이는 대도시의 경우 인구 증가 추세가 1990년대 이후에 정체되었으나, **중소도시의 인구는 최근까지 꾸준히 증가하고 있는 것과 관련 있다.**
- 48년 동안 매 10년당 기온 상승 경향은 대도시는 +0.36°C, 중소도시는 +0.38°C임
- **[폭염]** 같은 기간 폭염 발생 빈도의 증가 경향은 매 10년당 **중소도시에서 1.8일 증가하여 대도시(1.6일 증가)보다 증가 속도가 빠른 것으로 추정되었다.** 인접한 대도시와 중소도시 간 폭염 발생 빈도의 증가 경향을 직접 비교한 경우에도 중소도시의 증가 폭이 비교적 컸다.
- 구미(+2.7일) > 대구(+2.2일), 청주(+2.7일) > 대전(+2.2일), 포항(+2.7일) > 울산(+2.2일)

22) 전체 면적 중 10% 이상에서 열스트레스 지수 상위 5%의 기준값을 초과하는 날의 연중 일수

구분	봄꽃 개화 전망	대기정체 전망	유역별 극한강수 전망
<p>보도자료</p>	<p>기상청 보도 자료</p> <p>2022. 3. 17.(목) 10:00</p> <p>2022. 3. 16.(수) 14:00</p> <p>기후과학국 책임자 과 장 김정석 (042-481-7420)</p> <p>기후변화협력과 담당자 사유문 이진아 (042-481-7421)</p> <p>온실가스 감축 없으면 21세기 후반 봄꽃 2월에 필 수도 - 새로운 고탄소 시나리오에서 봄꽃 개화시기 23-27일 당겨져 -</p> <ul style="list-style-type: none"> 기상청(청장 박광석)은 미래 우리나라 기후변화 시나리오에 따른 봄꽃 3종(개나리, 진달래, 벚꽃)의 개화일 전망 분석 결과를 발표하였다. 지난해 발표한 우리나라 고해상도(1km) 기후변화 시나리오에 과거 2, 3월 평균기온과 봄꽃 개화일의 상관성을 적용한 것으로, 우리나라 6개 지역을 대상으로 분석하였다. 저탄소 시나리오(SSP1-2.6) : 온실가스를 완전히 감축하여 2050년경 탄소중립에 이르는 시나리오 고탄소 시나리오(SSP5-8.5) : 현재 수준과 유사하게 온실가스 배출을 증가하는 시나리오 ** 6개 계절의 시작: 입춘, 부선, 목로, 서풍, 대구, 강릉 <p>미래의 봄꽃 개화일은 현재(1991-2020년) 대비 21세기 전(2021-2040년)/중(2041-2060년)/후반기(2081-2100년)에 각각 5-7일/5-13일/10-27일 당겨질 것으로 전망된다(그림 1, 붙임 1).</p> <p>기온의 영향을 많이 받는 개화일은 기온 증가폭이 큰 고탄소 시나리오에서 21세기 후반기에 23-27일 당겨질 것으로 예상된다.</p> <p>- 온실가스를 원천의 감축하는 저탄소 시나리오에서는 10-12일 당겨져 고탄소 시나리오에 비해 개화시기 변화가 적게 나타났다.</p> <p>또한, 풍량 증가에 따라지는 개나리/진달래/벚꽃의 개화시기가 고탄소 시나리오에서 21세기 후반기에 각각 23일/27일/25일로 당겨질 전망이다.</p> <p>- 진달래의 경우, 개나리보다 늦게 개화하는 것이 일반적이거나 21세기 후반기에는 개나리와 진달래가 동시 개화하거나 진달래가 더 빨리 개화할 것으로 예상된다.</p> <p>* 최근 들어 봄철 이상고온현상으로 봄꽃 개화기 동시다발적으로 나타나는 경향이 뚜렷(서울에서 개나리 -진달래 동시 개화, 2018. 3. 27.)</p>	<p>기상청 보도 자료</p> <p>2022. 5. 1.(일) 10:00</p> <p>2022. 4. 29.(금) 14:00</p> <p>국립기상과학관 책임자 팀 장 변영희 (064-780-6780)</p> <p>기후변화에국연구팀 담당자 연구사 김진욱 (064-780-6783)</p> <p>현재 추세면 21세기 말 대기정체 발생일 최대 58% 늘어 - 동아시아 기후변화 시나리오를 활용한 대기정체 발생 전망 분석 -</p> <ul style="list-style-type: none"> 기상청(청장 박광석)은 우리나라 겨울-봄철 고농도 미세먼지현상의 큰 원인 중 하나인 대기정체에 관한 미래변화 분석결과를 발표하였다. 이번에 발표하는 미래 대기정체 전망은 고해상도(25km) 동아시아 기후변화 시나리오에 대기정체지수를 적용하여 분석한 결과이다. 저탄소 시나리오(SSP1-2.6) : 최적으로 사용을 최소화하고 획기적으로 탄소 배출량을 감축 중반단계 시나리오(SSP2-4.5) : 탄소 배출을 현재의 감축 고탄소 시나리오(SSP3-7.0/SSP5-8.5) : 현재의 유사하거나 좀 더 높은 탄소 배출 지속 <p>미래의 겨울-봄철 대기정체 발생일은 현재(1995-2014년, 26.2일) 대비 21세기 후반기(2081-2100년)에 최대 58%까지 증가할 것으로 전망된다.</p> <p>미래 대기정체 발생은 현재 대비 21세기 전반기(2021-2040년), 중반기(2041-2060년), 후반기 각각 최대 2.3일, 4.8일, 15.3일 증가하는 것으로 예상된다.</p> <p>< 미래 기후변화 시나리오별 대기정체 발생일수 변화 ></p>	<p>기상청 보도 자료</p> <p>2022. 6. 14.(화) 09:00</p> <p>2022. 6. 13.(월) 14:00</p> <p>기후과학국 책임자 과 장 김정석 (042-481-7420)</p> <p>기후변화협력과 담당자 사유문 이진아 (042-481-7421)</p> <p>온실가스 감축 없이 21세기 말 유역별 극한 강수량 최대 70% 이상 증가 - 현재 기후변화 시나리오를 활용한 유역별 홍수발생 가능성 분석 -</p> <ul style="list-style-type: none"> 기상청(청장 박광석)과 아시아태평양경제협력체(APEC) 기후센터(권장 산도스)는 우리나라에서 재난 및 인명피해의 주요 원인 중의 하나인 하천 홍수발생과 관련된 유역별 극한 강수량의 미래변화 분석결과를 발표하였다. 이번에 발표하는 미래 유역별 극한 강수량 전망은 우리나라 고해상도(1km) 시나리오에 기상청의 대역원별 "재현빈도" 극한 강수량을 산정하여 분석한 결과이다. 기상청 대역원: 기상청에서는 환경부 수자원 단위지도의 2개 대역원 중 가장 면적이 큰 한강유역과 낙동강유역을 세분화하여 26개 대역원으로 분원(붙임 1) 재현빈도: 극한 강수량이 나타날 것으로 예측되는 기간으로, 재현빈도 50년은 50년에 한 번 나타날 극한 강수량을 의미 미래 유역별 극한 강수량은 현재(2000-2019년) 대비 기후변화 시나리오에 따른 재현빈도 극한 강수량의 변화(백분율)으로 장방화하여 분석하였다. 저탄소 시나리오(SSP1-2.6) : 최적으로 사용을 최소화하고 획기적으로 탄소 배출량을 감축 고탄소 시나리오(SSP5-8.5) : 현재의 유사하거나 좀 더 높은 탄소 배출 지속 <p>고탄소 시나리오(SSP5-8.5)의 경우, 100년 재현빈도 극한 강수량 변화율은 현재 대비 21세기 전반기(2021-2040년)/중반기(2041-2060년)/후반기(2081-2100년)에 각각 약 29%/46%/53% 증가하는 것으로 전망된다.</p> <p>우리나라 대역원 강수량(100년 빈도)은 현재(187.1-318.4mm) 대비 21세기 전반기 21.4-174.3mm, 중반기 55.0-334.8mm, 후반기에 70.8-311.8mm 증가할 것으로 예상된다.</p>
<p>카드뉴스</p>	<p>점점 빨라지는 봄꽃 개화시기 -부재: 봄꽃을 2월에 볼 수도 있다고!-</p> <p>2081-2100년</p> <p>환경카드뉴스는 환경정보를 쉽고 재미있게 알리기 위하여 제작되었습니다.</p>	<p>21세기 후반 대기정체 발생일 최대 58% 늘어</p>	<p>00강 재첩 실종사건</p> <p>온실가스 감축 없이, 21세기 후반 하천 유역별 극한 강수량 최대 70% 이상 증가</p>

[그림 III-49] 미래 전망정보 관련 보도자료 및 카드뉴스 예시

사. 기후변화 시나리오 서비스 및 활용

① 기후정보포털을 통한 과거·미래 기후변화 분석

기상청 기후정보포털은 기후변화 과학에 대한 기초적인 정보뿐 아니라 기후위기 관련 정책 수립 및 기후변화영향평가 등을 위한 과학적 근거자료를 제공하기 위한 웹 기반의 기후정보 시스템이다.

‘기후변화 시나리오’ 메뉴에서 과거 기후변화 현황과 미래 기후변화 전망 자료를 이용하여 분석하거나 다운로드 받을 수 있다.

<표 III-7> 기후정보포털의 “기후변화 시나리오” 기능 개요

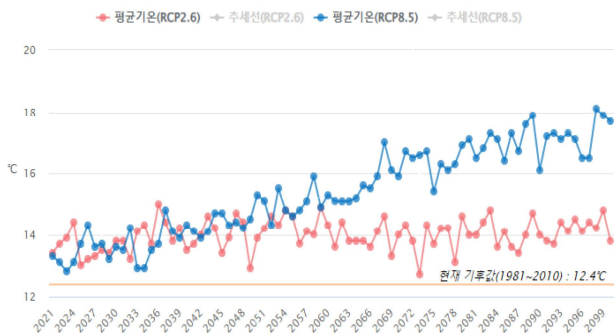
구분		내용
① 시나리오 소개	개념	기후변화 시나리오 정의, 필요성, 종류 소개
	산출방법	해상도별 기후변화 시나리오 산출과정 및 방법
	Q&A	시나리오 개념, 산출과정, 서비스 관련 질문과 답변 수록
	활용 매뉴얼	사용자 매뉴얼, 격자자료 활용매뉴얼, 활용사례집 등
② 미래 기후전망	격자	전지구, 한반도, 남한 격자자료 조회 및 표출
	행정구역	시군구, 읍면동 기반 행정구역별 자료 조회 및 표출
	부문별 영향정보	6개 부문 총 32종 응용정보 조회 및 표출
③ 과거 기후변화	관측자료	ASOS 관측자료(1904년~) 조회 및 표출
	MK-PRISM(격자)	고해상도(1km) 격자기후자료(2000년~)
	MK-PRISM(행정구역)	격자 및 행정구역 기반으로 조회 및 표출
④ 다운로드	데이터	SSP, RCP, SRES 원본자료 다운로드
	보고서	지역별 기후변화 전망보고서 다운로드

- 1) 시나리오 소개: 시나리오 개념, 종류, 산출방법 등 시나리오에 대한 소개 자료가 포함되어 있으며 Q&A와 활용매뉴얼(사용자 매뉴얼, 자료활용 매뉴얼 등)을 확인할 수 있다.



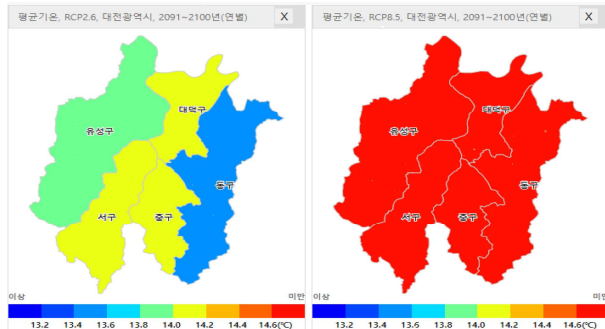
[그림 III-50] 기후정보포털에서 제공하는 사용자 매뉴얼과 자료 활용 매뉴얼

2) 미래 기후전망: 격자(전지구, 한반도, 남한상세) 및 행정구역별 기후변화 시나리오(RCP, SSP) 및 부문별 영향정보(응용지수)를 조회하고 분석할 수 있다.



[그림 III-51] 기본분석(시계열)

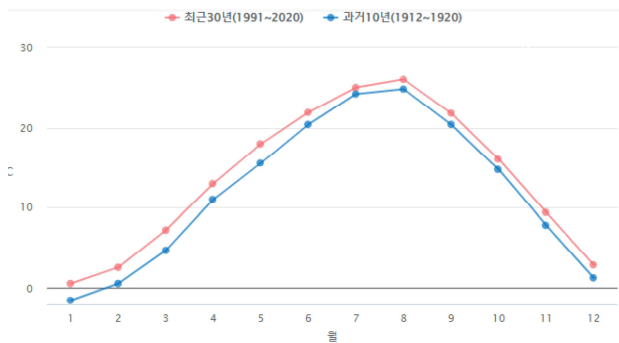
- 기후요소: 기온, 강수량
- 기간: 2021~2100년
- 기능: 기간선택(10/30/100년/21세기) 시 변화 그래프 및 추세율(10년당변화율) 표시



[그림 III-52] 비교분석(분포도)

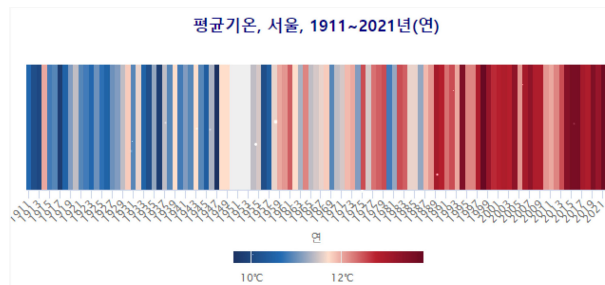
- 기후요소: 기온, 강수량
- 기간: 2021~2100년
- 기능: 두 종류의 지역, 시나리오 또는 기간에 대해 변화 경향과 편차를 분포도로 비교분석 가능

3) 과거 기후변화: 관측자료(ASOS), MK-PRISM(격자, 행정구역) 기반으로 우리나라 과거 및 현재 기후값과 편차를 조회하고 분석할 수 있다.



[그림 III-53] 기본분석(최근-과거 비교)

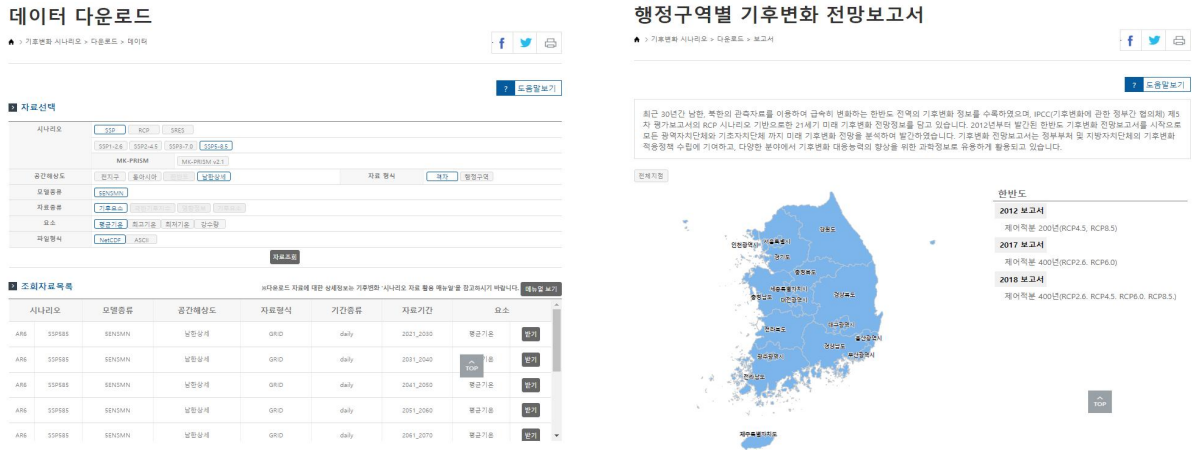
- 기후요소: 기온, 강수량, 습도, 풍속, 신적설
- 기간: 1904년~
- 기능: 최근(10/30년) 및 과거(10/30년) 기간 선택 시 월별로 각 기후요소의 변화(그래프, 평균값, 편차값)를 조회할 수 있음



[그림 III-54] 기타분석(히트맵)

- 기후요소: (미래) 기온, 강수량 (과거) 기온, 강수량, 습도, 풍속, 신적설
- 기간: (미래) 2021~2100년 (과거) 1904년~
- 기능: 수치 대신 색상 코딩 시스템을 사용해 많은 양의 자료를 시각화하는데 적합한 그래픽 기술. 최소값을 진한 파란색, 최고 값을 진한 빨간색으로 표현하여 요소별 변화경향을 한눈에 쉽게 파악 가능

4) 다운로드: 데이터와 보고서로 구분되며 사용자가 원하는 시나리오(SSP, RCP, SRES), 시·공간 해상도, 요소, 파일형식 등을 선택하여 대용량 자료를 다운로드 할 수 있으며, 한반도 및 행정구역별 기후변화 전망보고서(PDF)를 다운로드 할 수 있다.



[그림 Ⅲ-55] 기후정보포털 데이터 및 보고서 다운로드

<표 Ⅲ-8> 기후정보포털 기후변화 시나리오 제공 기후요소(4종)

	지수명	내 용
1	평균기온	일 단위 기온을 평균한 값
2	최고기온	일 단위 기온 중 가장 높은 기온
3	최저기온	일 단위 기온 중 가장 낮은 기온
4	강수량	일 단위 강수량을 모두 합한 총 강수량

<표 Ⅲ-9> 기후정보포털 기후변화 시나리오 제공 극한기후지수(27종)

	지수명	내 용
1	폭염일수	일최고기온이 33℃ 이상인 날의 연중 일수
2	한파일수	일최저기온이 -12℃ 이하인 날의 연중 일수
3	온난일	일최고기온이 기준기간의 90퍼센타일을 초과한 날의 연중 일수
4	온난일계속기간	일최고기온이 기준기간의 90퍼센타일을 초과한 날이 최소 6일 이상 지속된 날의 연중 일수
5	최대온난일계속기간	일최고기온이 기준기간의 90퍼센타일을 초과한 날의 연중 최대지속일수
6	온난야	일최저기온이 기준기간의 90퍼센타일을 초과한 날의 연중 일수
7	한랭일	일최고기온이 기준기간의 10퍼센타일 미만인 날의 연중 일수
8	한랭야	일최저기온이 기준기간의 10퍼센타일 미만인 날의 연중 일수
9	한랭야계속기간	일최저기온이 기준기간의 10퍼센타일 미만인 날이 최소 6일 이상 지속된 날의 연중 일수
10	최대한랭야계속기간	일최저기온이 기준기간의 10퍼센타일 미만인 날의 연중 최대지속일수
11	일최고기온 연최대	일최고기온의 연중 최대값
12	일최고기온 연최소	일최고기온의 연중 최소값
13	일최저기온 연최대	일최저기온의 연중 최대값
14	일최저기온 연최소	일최저기온의 연중 최소값

	지수명	내 용
15	서리일수	일최저기온이 0°C 미만인 날의 연중 일수
16	결빙일수	일최고기온이 0°C 미만인 날의 연중 일수
17	여름일수	일최고기온이 25°C 이상인 날의 연중 일수
18	열대야일수	일최저기온이 25°C 이상인 날의 연중 일수
19	식물성장기간	일평균기온이 5°C 보다 높은 날이 6일 이상 지속된 첫 날부터 5°C 미만인 날이 6일 이상 지속된 첫 날까지 사이의 연중 일수
20	일교차	일최고기온과 일최저기온 차이값의 연평균
21	1일최다강수량	연속된 24시간 동안 기록된 최대 강수량
22	5일최다강수량	5일 동안 기록된 최대 강수량
23	강수강도	연중 습윤일수(일강수량 1mm 이상)로 나누어진 연 총강수량
24	호우일수	일강수 80mm 이상 기록된 날의 연중 일수
25	최대무강수지속기간	연중 일강수량이 1mm 미만인 날의 최대 지속일수
26	95퍼센타일 강수일수	일강수량이 기준기간의 상위 95퍼센타일 보다 많은 날의 연중 일수
27	99퍼센타일 강수일수	일강수량이 기준기간의 상위 99퍼센타일 보다 많은 날의 연중 일수

② 기후변화 시나리오 활용사례

1) 지자체 기후위기 적응대책

‘지방 기후위기 적응대책 수립 및 이행평가 지침’(환경부, 2022)에 따라 지역의 기후변화 현황 및 미래 전망을 포함하여야 하며, 기상청에서 제공하는 기상관측자료 및 기후변화 시나리오 등을 바탕으로 기후요소 및 극한기후지수에 대한 현황과 전망을 조사·분석하도록 되어 있다.

또한, 기후변화 현황과 전망 결과와의 비교 검토를 통하여 지역의 기후변화 경향 및 기후취약요소, 시군구별 기후특성 및 잠재적 기후취약지역 등을 파악하여 대책 수립에 반영하여야 한다.

지역의 기후변화 영향·취약성 평가를 위해 환경부는 기후변화 영향평가 모형(MOTIVE23)과 취약성 평가 도구(VESTAP24)를 제공하고 있으며 이 도구에 기상청 시나리오가 활용되고 있다.

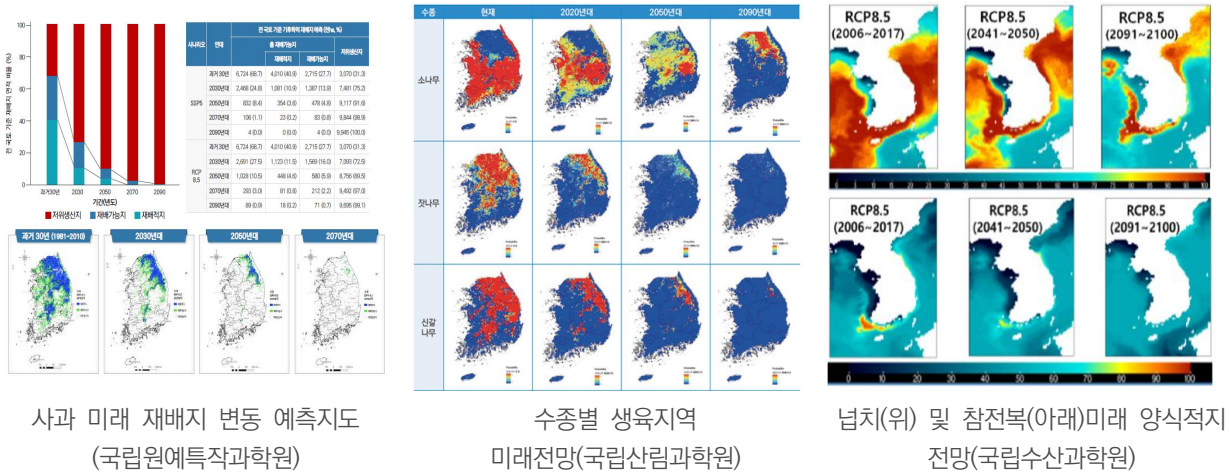


[그림 III-56] 지자체 기후위기 적응대책 활용사례

23) Model Of InTEgrated Impact and Vulnerability Evaluation of climate change
 24) Vulnerability Assessment Tool to build Climate Change Adaptation Plan

2) 부문별 시나리오 활용사례

SSP 기후변화 시나리오를 활용한 연구사례를 조사 결과 농업, 물관리, 재난·재해, 산림, 생태계 등 다양한 부문에서 기후변화 시나리오를 활용하여 미래 기후변화에 따른 부문별 영향정보를 분석하고 있다.



사과 미래 재배지 변동 예측지도
(국립원예특작과학원)

수종별 생육지역
미래전망(국립산림과학원)

precip(위) 및 잠재증발(아래)미래 양식적지
전망(국립수산과학원)

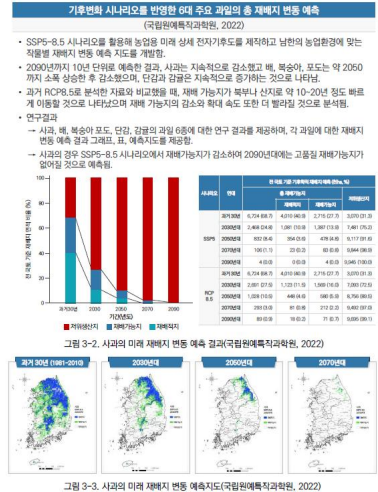
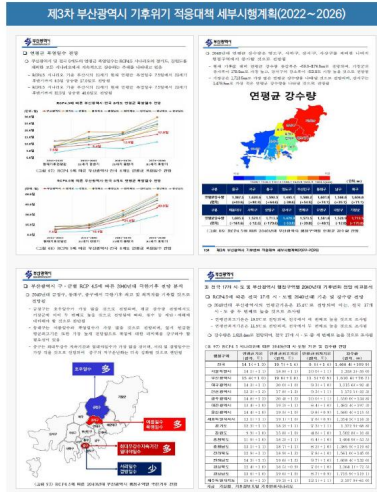
[그림 Ⅲ-57] 부문별 시나리오 활용사례

<표 Ⅲ-10> 연구사례 분석을 통한 부문별 기후변화 영향정보 사례

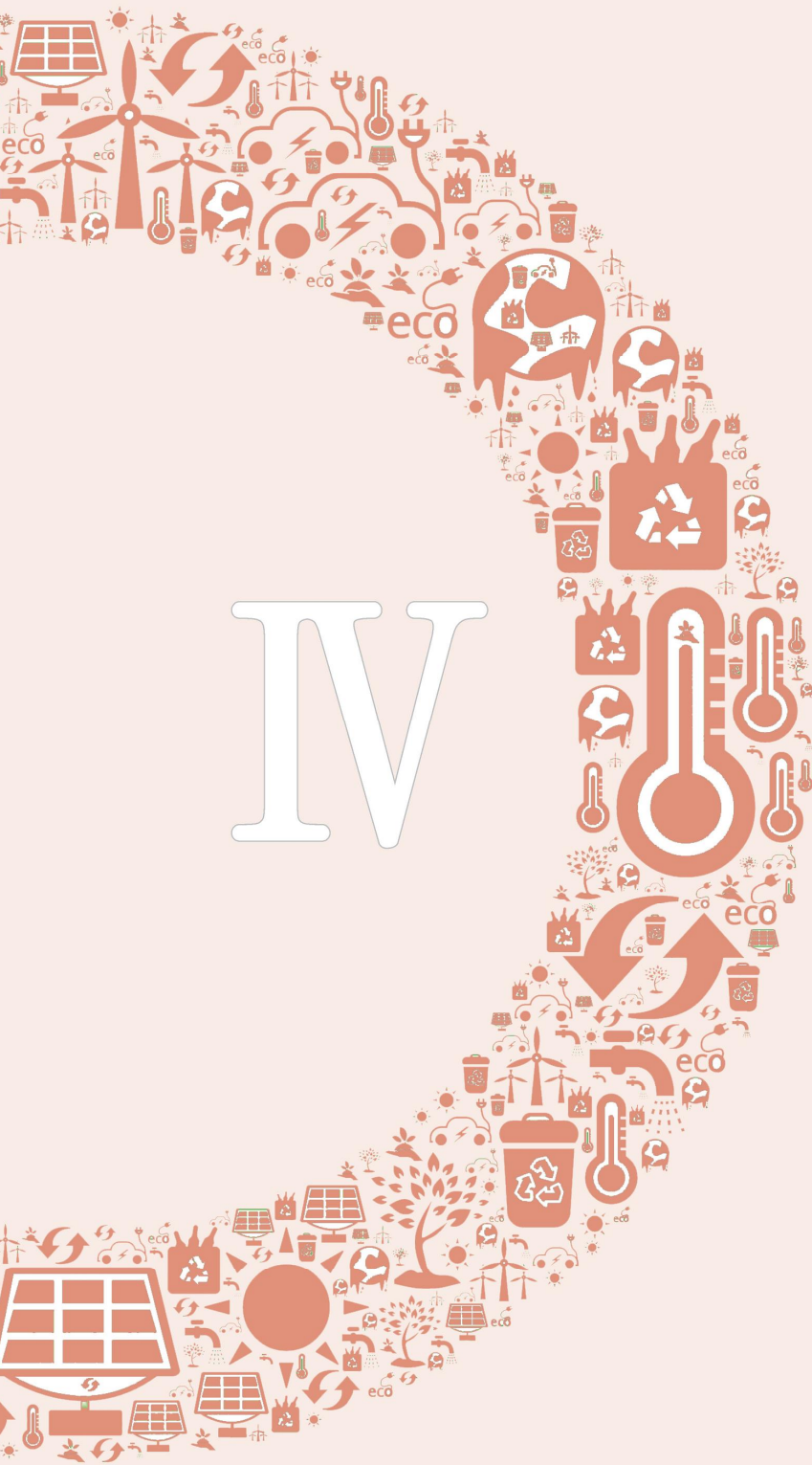
부문	내용
농업	<ul style="list-style-type: none"> 기후변화 시나리오를 반영한 6대 주요 과일의 총 재배지 변동 예측 기후변화에 따른 작물 재배면적 할당 및 이동 변화 분석 다중모델 앙상블 기반 미래 농업기상재해 특성 비교 SSP 시나리오에 따른 농경지 질소 및 인 부하량 기후변화 영향평가 SSP에 근거한 남한의 여름배추 재배지 변동 예측
물관리 및 재난재해	<ul style="list-style-type: none"> 기후 및 사회경제 변화를 고려한 한강 유역의 물이용 취약성 평가 기후변화 적응을 위한 우리나라 수문학적 가뭄 위험도 평가 무한천 유역 농경지 미래 침수 위험도 분석 기후 및 토지이용 변화 시나리오 기반 한반도 미래 수문학적 및 생태학적 가뭄 전망
산림 및 생태계	<ul style="list-style-type: none"> 미국쥐손이 적합 서식지 분포 예측 생태기후지수를 활용한 고로쇠나무 분포 예측 우리나라 겨울철 온난화가 미래 산림 분포의 변화에 미치는 영향 전국 야생 벌목 분포에 대한 기후요인 영향 연구

③ 관련 발간물(기후변화 시나리오 활용사례집)

기후변화 시나리오 개요, 미래전망·영향정보, 지자체·공공기관, 부문별 시나리오 활용 등이 포함된 기후변화 시나리오 활용사례집을 발간하였고 [기후정보포털(<http://climate.go.kr>) > 열린마당 > 발간물 > 기후변화 시나리오]에서 다운받을 수 있다.



[그림 III-58] 2022 기후변화 시나리오 활용사례집



기후변화과학 이해확산

1. 기후변화과학 이해확산 프로그램
2. 기후변화과학 교육

1 기후변화과학 이해확산 프로그램

기후변화 발생 원인, 영향, 예측에 대한 과학적 이해도를 높여 탄소중립을 위한 국민 실천 행동을 강화하고자 2011년부터 대국민 ‘기후변화과학 이해확산’ 홍보사업을 추진하고 있다. 수요층의 특성을 고려한 참여프로그램 운영, 홍보 매체의 다변화에 발맞춘 온라인 콘텐츠 개발, 학교 현장의 기후변화과학 교육지원에 초점을 맞추어 사업이 운영되고 있으며 본청 및 9개 지방(지)청 프로그램의 유기적 연계와 차별성 있는 지역 특화 프로그램 운영으로 효율성 높은 사업이 될 수 있도록 추진하고 있다.

가. 기후변화과학 브랜드 ‘달콤기후’

기후위기 대응, 탄소중립 등을 위하여 기후변화과학의 어려운 이미지를 탈피하고 국민 친화적 이미지를 구축하고자 고유 브랜드를 개발하였다.

2010년 환경부 국립생물자원관이 지정한 국가 기후변화 생물지표 100종 중 ‘남오미자꽃’을 모티브로 하며 오미자의 다섯가지 맛 중 달콤함과 매콤함을 기후변화와 접목하였고, ‘달달하고 매콤한 기후변화과학’의 줄임말로 우리의 행동에 따라 기후변화로 인한 이익을 얻거나 손해를 볼 수도 있다는 의미를 포함하고 있다. 글꼴, BI(Brand Identity) 등을 개발하여 국민에게 친근한 이미지로 다가가 자연스럽게 인식될 수 있는 대중적 브랜드로 구축하여 기후문화를 확산하고자 한다.



《 글꼴 다운로드 경로 》

* 달콤기후체 적용

- 공공누리(<http://kogl.or.kr>): 한국문화정보원 관리 및 운영(공공누리-글꼴)
- 공유마당(<http://gongu.copyright.or.kr>): 한국저작권협회 관리 및 운영(공유마당-무료폰트-안심글꼴파일서비스)

[그림 IV-1] 기상청 달콤기후체 및 다운로드 경로

나. 국민 참여 프로그램

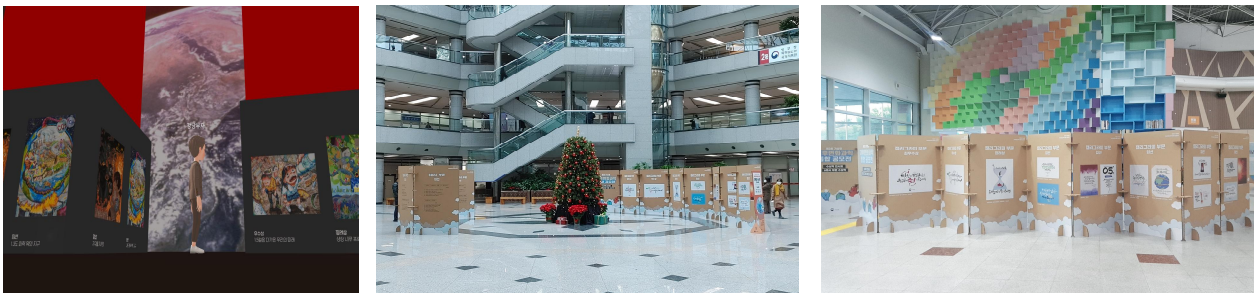
기후위기 대응과 탄소중립을 위한 국민 참여를 높이고 기후변화과학에 대한 인식을 확산하고자 다양한 참여 프로그램을 진행하고 있다.

① 달콤기후 공모전

누구나 참여하기 쉬운 그림·캘리그래피 등을 통해 기후변화에 대한 심미적 표현과 재치있고 감동적인 작품을 공모하기 위해 달콤기후 공모전을 개최하고 있다. 선정된 수상작은 전국 순회전시회 및 메타버스 플랫폼을 통해 전시되며 대국민 기후변화과학 이해확산 콘텐츠로 활용된다.



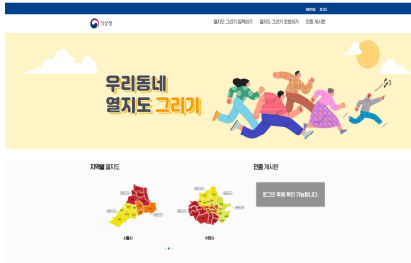
[그림 IV-2] 제4회 달콤기후 공모전 수상작('23년)



[그림 IV-3] 온라인 및 오프라인 전시회('22년)

③ 지역별 참여 프로그램

수도권기상청(서울·인천·경기), 부산지방기상청(부산·울산·경남), 광주지방기상청(광주·전남), 강원지방기상청(강원), 대전지방기상청(대전·세종·충남), 대구지방기상청(대구·경북), 제주지방기상청(제주), 전주기상지청(전북), 청주기상지청(충북) 등 총 9개의 지방(지)청으로 구성되어 기후변화과학 전파를 위한 학교 교육 지원, 참여프로그램 운영, 콘텐츠 개발 등 지역의 특성을 반영하여 다양한 이해확산 프로그램을 운영하고 있다.



〈수도권청〉
우리동네 열지도 그리기



〈부산청〉
기적의 통장



〈광주청〉
탄소중립으로 가는 길, 1.5도시



〈강원청〉
우리도 기후변화 전문가



〈대전청〉
브런치 기후 카페



〈대구청〉
기후변화 현장 테마여행



〈제주청〉
기후변화홍보단



〈전주지청〉
기후변화 정보수집 및 기후정보 서비스



〈청주지청〉
기후놀이터

[그림 IV-4] 지방(지)청별 이해확산 프로그램 운영 내용

다. 기후변화과학 콘텐츠 개발

세대별 수요자 특성에 맞춰 기후변화 과학정보 전달의 효율성을 강화하기 위한 목적으로 다양한 기후변화 과학 콘텐츠를 개발·보급하고 있다.

① 유아용 동화책

일반 국민과 교육 현장에서 활용이 가능한 기후변화과학 동화책 ‘아기여우 여울이의 기후여행’을 개발하여 주요 온라인 서점(교보문고, 알라딘, YES24, 밀리의 서재)을 통해 배포하였으며, 누구나 무료로 활용 가능하다.



[그림 IV-5] 기후변화과학 동화책('22년)

《동화책 주요 등재 카테고리》

- 교보문고: eBook-유아
- 알라딘: eBook-어린이-동화/명작/고전
- YES24: eBook-어린이/유아-어린이 그림책/동화책
- 밀리의 서재: 어린이/청소년-동화
- 기후정보포털: 열린마당-자료실기후변화과학콘텐츠

KYOBO 교보문고



yes24

millie

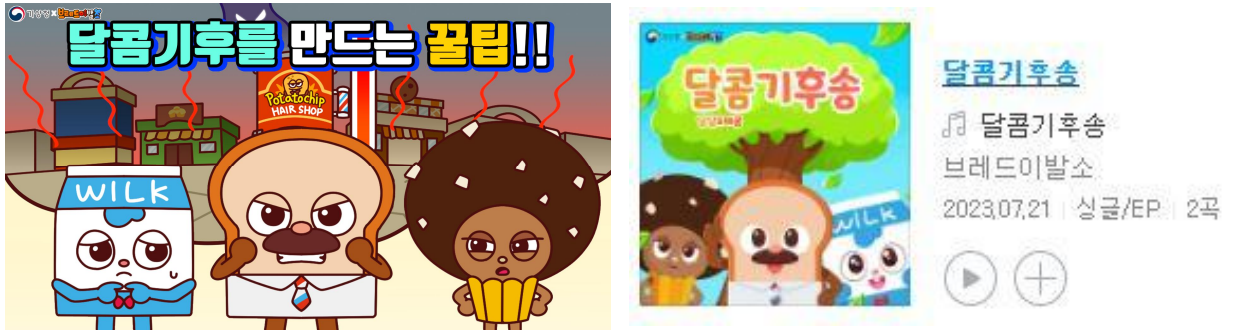
기상청
기후정보포털

② 애니메이션 및 OST 개발

유아, 어린이를 대상으로 인기 있는 유명 캐릭터인 ‘브레드이발소’와의 협업으로 기후변화과학의 의미를 유쾌한 방식으로 전달할 수 있는 애니메이션을 개발하였으며, 중독성 있는 OST(후크송)를 개발하여 신나는 멜로디와 함께 자연스럽게 기후변화과학에 대해 인식할 수 있도록 제작하였다.

《애니메이션 및 OST 등재 경로》

- 애니메이션: 기상청 및 브레드이발소 공식 유튜브
- OST: 유튜브, 지니뮤직, 바이브 등 국내외 20개 음원 유통 플랫폼



[그림 IV-6] 브레이발소 애니메이션(좌) 및 OST('23년)(우)

④ 기후변화과학 Q&A 영상, 카드뉴스, 다큐멘터리 제작

모바일 사용 확산에 따른 SNS(Social Networking Service)의 사용을 고려하여 콘텐츠를 구성하였으며, 주요 구성 방식으로는 애니메이션 기법을 적용한 카드뉴스와 인터뷰 형식의 Q&A 영상, 기후변화 현장을 생생한 영상으로 담은 다큐멘터리 영상 등으로 수요자의 흥미를 유발할 수 있는 방식으로 제작하였다.



[그림 IV-7] Q&A영상(좌), 다큐멘터리영상(중간), 카드뉴스(우)

《콘텐츠 등재 경로》

- 기후정보포털: 열린마당-자료실-기후변화과학콘텐츠
- 기상청 유튜브 및 페이스북 등

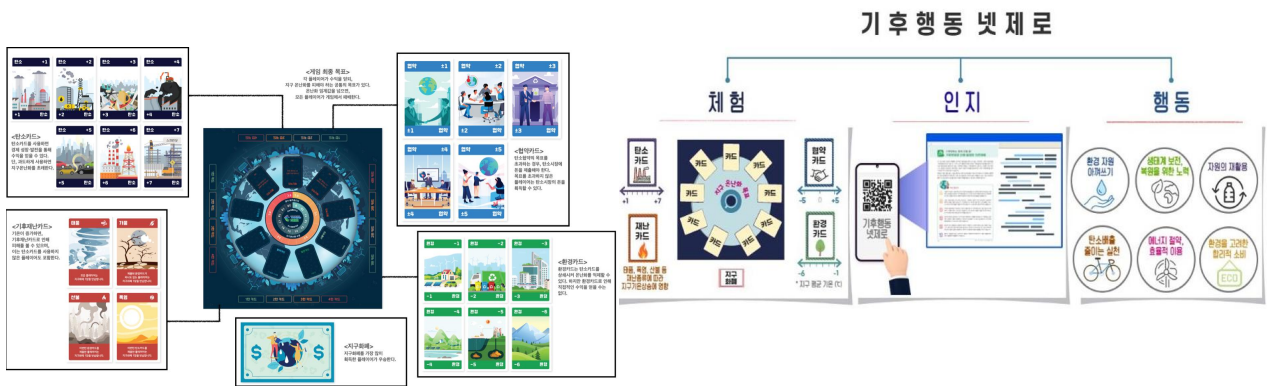
⑤ ‘기후행동 넷제로’ 보드게임¹⁾

- 쉽고 재밌게 참여할 수 있는 보드게임 형식을 통해 학생들이 직접 기후변화 정책결정자가 되어 탄소 중립과 기후변화에 대한 지식을 습득할 수 있도록 제작되었음
- 국내외 탄소중립과 기후변화 이해확산에 대한 기여를 인정받아 스위스 제네바 국제발명품 전시회에서 은상을 수상하였고 초·중·고등학교 교육 현장에서 체험활동 교구로 활용되고 있음

1) 국립기상과학원 기후변화예측연구팀(심성보 연구사)에서 개발한 탄소중립 보드게임으로 2022년 4월 스위스 제네바 국제발명품 전시회에서 은상을 수상함

《활용방법 등재 경로》

- 유튜브: 기후행동 넷제로 매뉴얼(How to play the Climate Action Net Zero)



[그림 IV-8] '기후행동 넷제로' 보드게임 소개

2021년 4월 교육부, 환경부, 해양수산부, 농림축산식품부, 산림청, 기상청 등 6개 관계부처와 학교 탄소중립 실현을 위한 업무협약을 맺었고 같은해 12월 기후위기 극복과 탄소중립 실천을 위한 학교 기후·환경 교육 지원을 위한 방안을 수립하였다. 이후 학교 탄소중립 지원을 위해 탄소중립기본법이 제정, 교육기본법이 개정되었고 이에 발맞추어 기상청에서도 기후변화과학 강사 육성과정을 통해 기후변화과학 강사를 양성하고 있으며, 학교 교육 지원을 위해 기상청 데이터를 활용한 초·중등용 창의적 체험활동 교재, 표준강의자료 등 교육 현장에서 활용 가능한 교재 및 콘텐츠를 개발·제공하고 있다.

가. 기후변화과학 전문강사 양성

최근 전 세계적으로 기후변화에 따른 이상기후 현상이 빈번하게 발생하고 사회적으로 많은 피해가 증가하고 있어 학생들의 기후변화에 대한 관심이 높아지고 있다. 이에 기상청에서는 학생들이 기후변화를 올바르게 배우고 기후위기 극복과 학교 탄소중립 지원을 위해 기후변화과학 강사를 양성하고 있다.

기후변화과학 강사는 기상청에서 일정 기간의 교육을 받은 후 학교 현장을 직접 방문하여 학생들을 대상으로 기후변화 감시, 원인, 분석, 영향, 대응 등에 대한 내용을 교육하여 미래 기후위기 대응 능력을 강화하고 있다.

나. 기후변화과학 교재

① 표준강의자료

초·중·고등학교 학년별 수준에 맞는 기후변화과학 교육과 학교 현장에서의 일관된 정보 확산을 위해 기후변화과학 표준교재를 개발하여 보급하였다. 기후변화 개념-현황-원인-미래 전망 및 영향 4단계로 분류하여 흐름에 따라 이해할 수 있도록 하였고 기후변화 최신자료와 언론 기사 등 시각적 이미지를 활용하여 효율적으로 이해할 수 있도록 제작하였다.


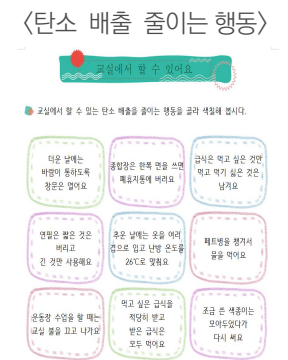
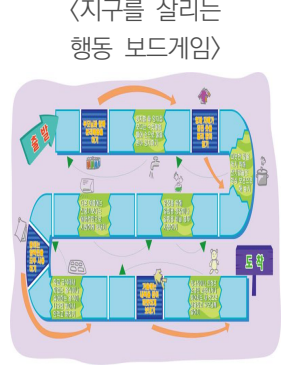




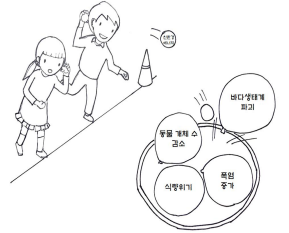

[그림 IV-9] 기후변화과학 표준강의자료(초등용)

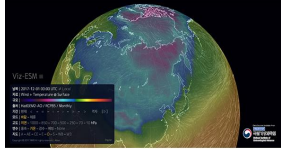
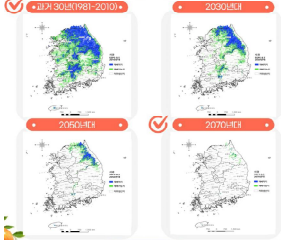



② 기상청 데이터로 알아보는 지구를 위한 슬기로운 기후생활

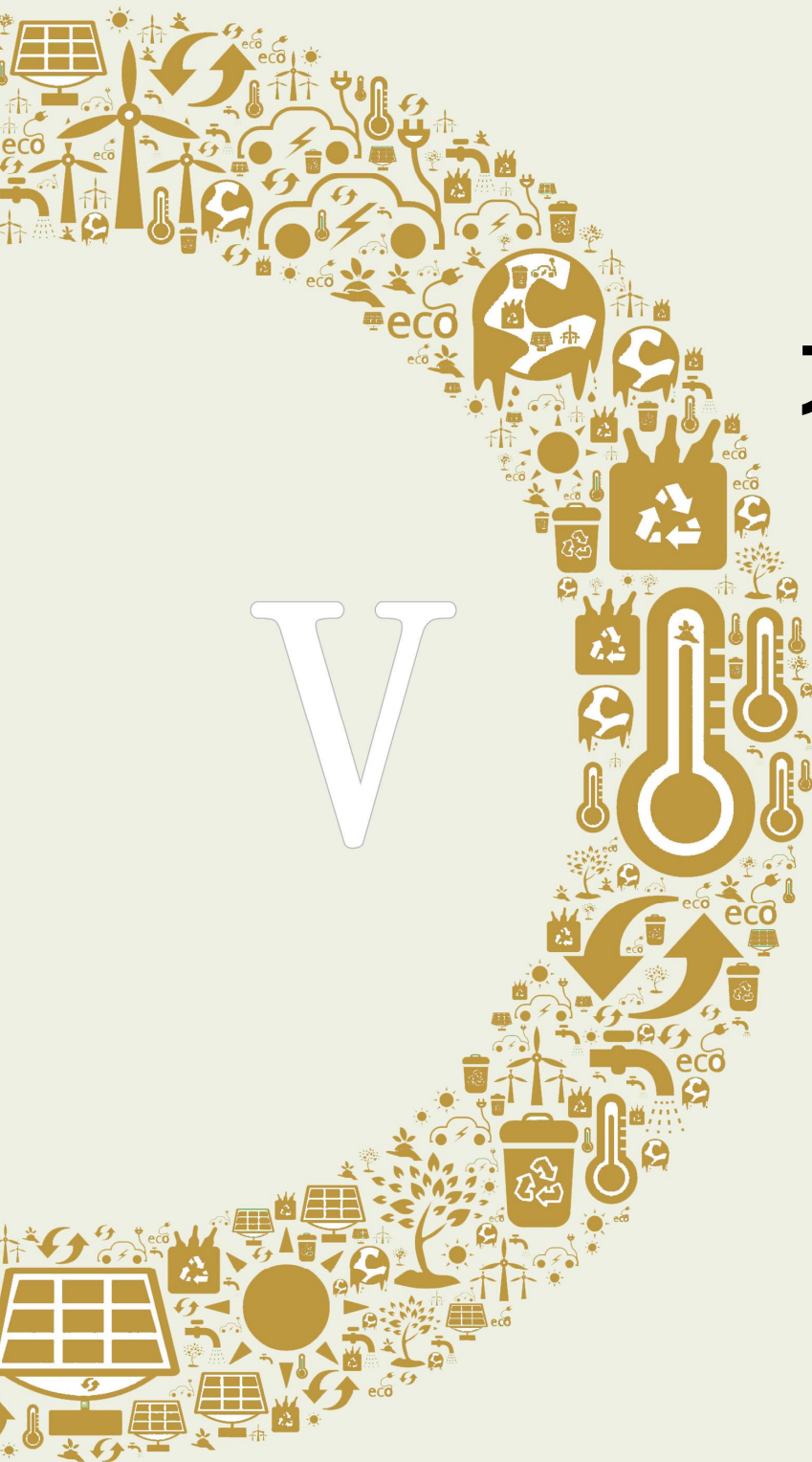
미래세대인 학생들이 기후변화과학 정보를 정확히 알고 대응할 수 있도록 서울교육대학교와 함께 초·중등용 창의적 체험활동 교재를 개발하였다.(’22년 11월)

- 기후변화 현상-원인-영향-대응 4단계로 분류하여 학업 성취기준에 도달할 수 있도록 구성하였으며, 2015 개정 교육과정과 2022 개정 교육과정 방향에 맞추어 제작하였음
- 학생들 수준에 맞도록 기후변화 주제별로 친숙한 소재를 발굴하여 프로그램을 구성하고, 초등 1~2, 초등 3~4, 초등 5~6학년, 중학생용으로 총 4권으로 제작하였음
- 최신 기상청 자료, 연구 동향, 국내외 주요 관심 사항 등을 활용하여, 학생들의 능동적인 참여를 이끌고 기후위기 대응을 통한 지속가능한 사회를 만들어 나가는데 필요한 능력과 태도를 갖출 수 있도록 개발되었음

대상	개요	목차 및 내용	관련 사진
초등 학생 1~2학년	<ul style="list-style-type: none"> ■ 대상: 초등학생 1~2학년 ■ 형식: Hwp, PPT, PDF ■ 분량: 148장(PPT, 파일 10개) ■ 활용팁: <ul style="list-style-type: none"> ① 창의적 체험활동 활용 시: 16차시 ② 탄소중립 강의 활용 시: 관심있는 차시를 해당 사이트에서 다운받아 주어진 강의시간에 맞게 탄력적으로 활용 ■ 내용: 날씨와 계절, 기후변화의 원인, 대응, 적응, 완화 ■ 효과: 날씨, 계절, 기후, 기후변화에 대한 내용을 쉽게 이해 ■ 특징: 퀴즈, 그림, 모빌 만들기 등 다양한 참여 활동을 통해 이해를 도움 ■ 제공: 기후정보포털 (http://climate.go.kr) [기후변화과학 이해하기] → [기후변화과학콘텐츠] → [기후변화 초·중등 교재] → [초등학교 1~2학년] 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 날씨와 기후(1~2차시) <ul style="list-style-type: none"> · 날씨와 기후 알아보기 · 날씨와 기후 이야기로 역할 놀이하기 2. 4계절(3~7차시) <ul style="list-style-type: none"> · 각 계절의 날씨 알아보기 · 각 계절의 날씨 표현하기(모빌 만들기, 티셔츠 만들기, 편지쓰기 등) 3. 기후변화 원인(8~9차시) <ul style="list-style-type: none"> · 가정, 학교의 예전 모습과 현재 모습을 비교하며 증가하는 에너지 생각하기 · 이산화탄소 발자국과 기후위기 시계 만들기 4. 기후변화 대응~적응(10~11차시) <ul style="list-style-type: none"> · 기후변화로 변한 날씨 파악, 기후변화 적응 방법, 지구에게 해줄 수 있는 것 찾기 5. 기후변화 대응~완화(12~16차시) <ul style="list-style-type: none"> · 탄소배출을 증감시키는 행동에 대해 이해하고 교실과 학교에서 할 수 있는 행동 찾기 · 기후변화 줄이는 실천 다짐하기 · 북극곰 미니북 만들기, 기후변화 줄이기 놀이 	<p>〈표지〉</p>  <p>〈탄소 배출 줄이는 행동〉</p>  <p>〈지구를 살리는 행동 보드게임〉</p> 

대상	개요	목차 및 내용	관련 사진
<p>초등학생 3~4 학년</p>	<ul style="list-style-type: none"> ■ 대상: 초등학생 3~4학년 ■ 형식: Hwp, PPT, PDF ■ 분량: 164장(PPT, 파일 12개) ■ 활용팁: <ul style="list-style-type: none"> ① 창의적 체험활동 활용 시: 16차시 ② 탄소중립 강의 활용 시: 관심있는 차시를 해당 사이트에서 다운받아 주어진 강의시간에 맞게 탄력적으로 활용 ■ 내용: 기후변화 이해, 지구온난화 원인, 기후변화 영향 및 완화 ■ 효과: 과거의 기후와 현재의 기후를 비교할 수 있음, 온실효과와 기후변화, 생태계 변화에 대한 이해와 적응 방법 알 수 있음 ■ 특징: 지도, 그래프 등을 통해 기후 변화와 생태계 이해 ■ 제공: 기후정보포털(http://climate.go.kr) [기후변화과학 이해하기] → [기후변화과학콘텐트] → [기후변화 초·중등 교재] → [초등학교 3~4학년] 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 기후변화의 이해 (1~2차시) <ul style="list-style-type: none"> · 옛날과 오늘날의 계절 차이 비교 · 기후변화 이해 및 미래의 기후 상상하기 2. 지구온난화와 발생원인(3~4차시) <ul style="list-style-type: none"> · 온실효과와 온실기체 이해, 이산화탄소 그래프 이해하기, 이산화탄소와 기온의 관계 이해 3. 기후변화 영향정보(5~6차시) <ul style="list-style-type: none"> · 막대그래프로 계절의 길이 변화 이해, 이상기후 현상 이해, 매미 나방과 기후 변화 관계 4. 기후변화 영향, 기후변화 적응(7~12차시) <ul style="list-style-type: none"> · 지역 특산물 지도 만들기, 우리나라 어장 지도 만들기, 계절 관측 지표 생물 탐구를 통해 기후변화가 우리나라 생태에 미치는 영향 이해 5. 기후변화 영향(13~14차시) <ul style="list-style-type: none"> · 기후변화로 인한 미래사회 가족의 영향 이해, 폭염 일수 변화, 「온도를 낮춰라!」 카드게임, 동물들의 폭염 대처 방법 생각하기 6. 기후변화 원인, 기후변화 완화 (15~16차시) <ul style="list-style-type: none"> · 우리나라 미래 기후전망, 기후변화 완화 노력, 「오! 재미! 지구를 지켜라」 놀이하기 	<p>〈표지〉</p>  <p>〈지구를 살리는 행동 보드게임〉</p>  <p>〈오!재미! 놀이하기〉</p> 
<p>초등학생 5~6 학년</p>	<ul style="list-style-type: none"> ■ 대상: 초등학생 5~6학년 ■ 형식: Hwp, PPT, PDF ■ 분량: 244장(PPT, 파일 13개) ■ 활용팁: <ul style="list-style-type: none"> ① 창의적 체험활동 활용 시: 16차시 ② 탄소중립 강의 활용 시: 관심있는 차시를 해당 사이트에서 다운받아 주어진 강의시간에 맞게 탄력적으로 활용 ■ 내용: 기후변화 현상, 원인, 영향, 대응, 완화 ■ 효과: 기후정보포털, 국립기상과학원, 농촌진흥청 홈페이지에서 데이터를 분석하며 자료 분석 능력 향상 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 기후변화 현상(1~4차시) <ul style="list-style-type: none"> · 날씨 관련 속담, 기후정보포털 및 국립기상과학원 홈페이지 활용, 기후변화 시나리오, 이산화탄소와 기온의 관계 2. 기후변화 원인(5~6차시) <ul style="list-style-type: none"> · 지구온난화와 우리 생활의 관계, 온실효과, 전기에너지와 기후변화의 관계, 탄소발자국 계산, 온실가스 증가량 조사 3. 기후변화 영향(7~12차시) <ul style="list-style-type: none"> · 바닷물의 변화와 기후변화의 영향, 해빙 감소량 조사, 해수면 상승 실험하기, 이상기후 현상 이해, 계절길이 색깔 띠 만들기, 과일 재배지도 그리기 	<p>〈표지〉</p> 

대상	개요	목차 및 내용	관련 사진
	<ul style="list-style-type: none"> ■ 특징: 기후변화자료를 직접 만들어 보며 실습할 수 있음 ■ 제공: 기후정보포털(http://climate.go.kr) [기후변화과학 이해하기] → [기후변화과학콘텐츠] → [기후변화 초·중등 교재] → [초등학교 5~6학년] 	<p>4. 기후변화 대응~완화(13~15차시)</p> <ul style="list-style-type: none"> · 신재생 에너지 알아보기, 소수력 발전기 만들기, 탄소중립 생활, 탄소중립 생활 카드놀이 <p>5. 기후변화 대응~적응(16차시)</p> <ul style="list-style-type: none"> · 기후변화와 환경 관련 직업, 기후변화 전문가, 미래 직업-기후변화에 대응하는 직업 	<p>〈기후변화 시나리오〉</p>  <p>〈미래 과일지도〉</p> 
<p>중학생</p>	<ul style="list-style-type: none"> ■ 대상: 중학생 ■ 형식: Hwp, PPT, PDF ■ 분량: 138장(PPT, 파일 12개) ■ 활용팀: <ul style="list-style-type: none"> ① 창의적 체험활동 활용 시: 16차시 ② 탄소중립 강의 활용 시: 관심있는 차시를 해당 사이트에서 다운받아 주어진 강의시간에 맞게 탄력적으로 활용 ■ 내용: 기후변화 현상, 원인, 지구 온도 상승 시나리오, 국내 온실가스 배출 현황, 탄소중립 ■ 효과: 기후변화와 미래전망 시나리오, 탄소중립에 대해 이해할 수 있음 ■ 특징: 기후정보포털 실습, 이모티콘 제작, 카드뉴스 만들기, 미래 직업 찾아보기 등 참여 활동 포함 ■ 제공: 기후정보포털(http://climate.go.kr) [기후변화과학 이해하기] → [기후변화과학콘텐츠] → [기후변화 초·중등 교재] → [중학생] 	<p>1. 기후변화 현상(1~3차시)</p> <ul style="list-style-type: none"> · 기후변화 퀴즈 풀기, 광고영상과 포스터 속 기후변화, 기상과 기후 가로세로 낱말퍼즐, 우리동네 기후변화 및 폭염 일수 분석, 기후변화 시나리오, 기후 난민 <p>2. 기후변화 원인(4~7차시)</p> <ul style="list-style-type: none"> · 지구온난화 뉴스, 지구온난화 5행시, 영구동토층, 온실가스 값 기록, 육식과 기후변화, 카드뉴스 제작하기 <p>3. 지구 온도상승과 국·외의 변화(8~11차시)</p> <ul style="list-style-type: none"> · 기후변화 영향정보·해수면 높이·평균 기온과 강수량 조사, 온도상승 시나리오, 해수면 상승 시나리오, 가뭄·호우·폭염·한파와 기후변화 연관성, 한반도 계절질이 분석, 극한기후 알아보기, 미래의 기상신문 제작 <p>4. 화석연료 줄이기(12~13차시)</p> <ul style="list-style-type: none"> · 화석연료, 국내 온실가스 배출현황, 화석연료 줄이기 실천 방안 및 환경 이모티콘 제작하기 <p>5. 기업과 개인의 실천 전략(14~16차시)</p> <ul style="list-style-type: none"> · 탄소중립, 온실가스 배출권 거래제, RE100, 탄소배출권, 기후변화 관련 미래직업(커리어넷), 국제사회 및 우리나라 대응 정책, 10대 핵심 기술, 대응 방안 제안, 홍보물 제작 	<p>〈표지〉</p>  <p>〈기후변화영향정보〉</p>  <p>〈기후변화 관련 직업찾기〉</p> 

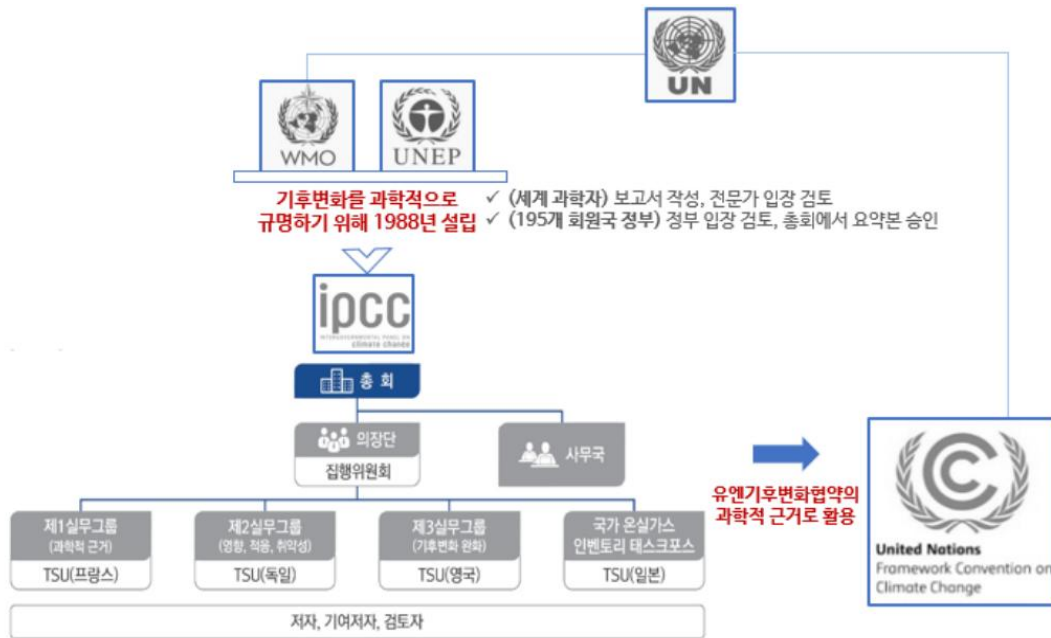


기후변화 국제협력

1. 국제협력 현황
2. IPCC 제6차 평가보고서 주요내용

가. 기후변화에 관한 정부 간 협의체(IPCC)

IPCC는 기후변화를 과학적으로 규명하기 위해 세계기상기구(WMO)와 유엔환경계획(UNEP)이 1988년 공동으로 설립한 국제기구이다.



[그림 V-1] IPCC 체계도

우리나라를 포함하여 총 195개 회원국으로 구성되어 있는 IPCC는 전세계 과학자가 참여하여 기후변화 추세 및 원인규명, 기후변화로 인한 생태학적, 사회경제적 영향 평가 및 그에 대한 대응전략을 분석한 평가 보고서를 5~7년 주기로 발간하며 이는 유엔기후변화협약 등에 과학적 근거자료로 활용된다.



우리나라는 2008년 스위스에서 개최된 총회에서 IPCC 부의장국으로 진출하여 기후과학 분야 국제협력을 주도해 나갈 발판을 만들었고, 2015년 10월 제42차 총회에서 제6대 의장으로 우리나라 이회성 교수가 당선 되어 제6차 평가주기를 주도하였다.

기상청은 IPCC 담당 부처 및 국가 포컬 포인트(focal Point)로서 승인하는 보고서 검토, 총회 대응 총괄 등 기후 및 기후변화 국제기구 활동에 적극적으로 참여하고 있으며 우리나라 전문가의 IPCC 참여 지원도 지속적으로 확대하고 있다.

<표 V-1> IPCC 평가주기별 보고서 우리나라 집필진 선정 현황

구분	1차('88~'90)	2차('91~'95)	3차('96~'01)	4차('02~'07)	5차('08~'14)	6차('15~'23)
집필진 수	0명	2명	5명	3명	11명	19명

IPCC는 1990년부터 평가보고서, 특별보고서, 기술보고서, 방법론보고서 등을 발간하고 있으며, 보고서는 기후변화 관련 정책, 연구 및 국가 간 기후변화 협상의 근거 자료로 활용되고 있다. 제6차 평가보고서 주기('15~'23년) 동안 총 8개의 보고서를 작성·승인하였으며, 기상청에서는 IPCC 보고서의 이해확산 및 국내 정책에 반영을 강화하기 위해 국문 번역본 및 해설서 등을 발간하여 [기상청 기후정보포털(<http://climate.go.kr>) > 열린마당 > 발간물 > IPCC보고서]에 등재하고 있다.

IPCC 제6차 평가보고서(AR6¹⁾)

- 평가보고서: 기후변화의 과학적, 기술적 평가에 관한 발간자료
 - 「제1실무그룹(WG² I) 보고서」 기후변화 과학('21.8.)
 - 「제2실무그룹(WG II) 보고서」 기후변화 영향, 적응, 취약성('22.2.)
 - 「제3실무그룹(WG III) 보고서」 기후변화 완화('22.4.)
 - 「종합보고서」 3개 실무그룹 보고서 및 3개 특별보고서의 핵심내용을 통합·평가('23.3.)
- 특별보고서: 평가보고서 외 특별한 주제에 대해 발행하는 보고서
 - 「지구온난화 1.5℃ 특별보고서」('18.10.)
 - 「기후변화와 토지 특별보고서」('19.8.)
 - 「변화하는 기후에서의 해양 및 빙권 특별보고서」('19.9.)
- 방법론보고서: 국가온실가스 인벤토리 준비를 위한 실용적 가이드라인, 유엔기후변화협약(UNFCCC) 당사국의 인벤토리 보고에 활용됨
 - 「IPCC 국가온실가스 인벤토리 2006 지침 2019 개선보고서」 ('19.5.)

1) Sixth Assessment Report
2) Working Group



지구온난화 1.5°C
기후변화에 대한 지구적 대응 강화, 지구가능한 발전, 빈곤 퇴치 노력 측면에서 상향해 이전 수준 대비 지구온난화 1.5°C의 영향과 관련 온실가스 배출 경에 대한 IPCC 특별보고서

정책결정자를 위한 요약본
기술요약서

이 보고서는 제4차 IPCC 제1부 제2차 워크숍(IPCC WG1, WG1.1)에서 기후변화에 대한 과학적 합의(AR6)를 제정하기 위한 1.5°C 특별보고서로, 제1차 지구온난화 1.5°C 특별보고서(AR5)의 후속으로 작성되었습니다.

지구온난화 1.5°C 특별보고서 해설서

2018년 10월 8일, IPCC 제1부 제2차 워크숍(WG1.1)에서 기후변화에 대한 과학적 합의(AR6)를 제정하기 위한 1.5°C 특별보고서(AR5)의 후속으로 작성되었습니다.

2018년 10월 8일, IPCC 제1부 제2차 워크숍(WG1.1)에서 기후변화에 대한 과학적 합의(AR6)를 제정하기 위한 1.5°C 특별보고서(AR5)의 후속으로 작성되었습니다.

2018년 10월 8일, IPCC 제1부 제2차 워크숍(WG1.1)에서 기후변화에 대한 과학적 합의(AR6)를 제정하기 위한 1.5°C 특별보고서(AR5)의 후속으로 작성되었습니다.

지구온난화 1.5°C 특별보고서 해설서

지구온난화 1.5°C 특별보고서 해설서

지구온난화 1.5°C 특별보고서 해설서

지구온난화 1.5°C 특별보고서 해설서

'지구온난화 1.5°C 특별보고서, 해설서 요약본'

지구온난화 1.5°C 특별보고서 해설서 요약본

지구온난화 1.5°C 특별보고서 해설서 요약본

지구온난화 1.5°C 특별보고서 해설서 요약본

지구온난화 1.5°C 특별보고서 국문 번역본(좌) 및 해설서(우)

기후변화 2021 과학적 근거

정책결정자를 위한 요약본

기후변화에 대한 과학적 합의(IPCC) 제6차 평가주기(AR6) 제1실무그룹 보고서

기후변화에 대한 과학적 합의(IPCC) 제6차 평가주기(AR6) 제1실무그룹 보고서

기후변화에 관한 정부 간 협의체(IPCC) 제6차 평가주기(AR6) 제1실무그룹 보고서

기후변화에 관한 정부 간 협의체(IPCC) 제6차 평가주기(AR6) 제1실무그룹 보고서

기후변화에 관한 정부 간 협의체(IPCC) 제6차 평가주기(AR6) 제1실무그룹 보고서

'기후변화 2021 과학적 근거, 정책결정자를 위한 요약본' 해설서

기후변화에 관한 정부 간 협의체(IPCC) 제6차 평가주기(AR6) 제1실무그룹 보고서

기후변화에 관한 정부 간 협의체(IPCC) 제6차 평가주기(AR6) 제1실무그룹 보고서

'기후변화 2021 과학적 근거, 정책결정자를 위한 요약본' Key Point 8

기후변화에 관한 정부 간 협의체(IPCC) 제6차 평가주기(AR6) 제1실무그룹 보고서

기후변화에 관한 정부 간 협의체(IPCC) 제6차 평가주기(AR6) 제1실무그룹 보고서

IPCC 제1실무그룹 평가보고서(기후변화 2021 과학적 근거) 국문 번역본(좌) 및 해설서(우)

기후변화 2022 기후변화의 완화

정책결정자를 위한 요약본

기후변화에 대한 과학적 합의(IPCC) 제6차 평가주기(AR6) 제3실무그룹 보고서

기후변화에 대한 과학적 합의(IPCC) 제6차 평가주기(AR6) 제3실무그룹 보고서

기후변화에 관한 정부 간 협의체(IPCC) 제6차 평가주기(AR6) 제3실무그룹 보고서

기후변화에 관한 정부 간 협의체(IPCC) 제6차 평가주기(AR6) 제3실무그룹 보고서

기후변화에 관한 정부 간 협의체(IPCC) 제6차 평가주기(AR6) 제3실무그룹 보고서

'기후변화 2022 기후변화의 완화' 정책결정자를 위한 요약본 해설서

기후변화에 관한 정부 간 협의체(IPCC) 제6차 평가주기(AR6) 제3실무그룹 보고서

기후변화에 관한 정부 간 협의체(IPCC) 제6차 평가주기(AR6) 제3실무그룹 보고서

제4장 - 완화-기후-지구가능발전 간의 연계

기후변화에 관한 정부 간 협의체(IPCC) 제6차 평가주기(AR6) 제3실무그룹 보고서

기후변화에 관한 정부 간 협의체(IPCC) 제6차 평가주기(AR6) 제3실무그룹 보고서

IPCC 제3실무그룹 평가보고서(기후변화의 완화) 국문 번역본(좌) 및 해설서(우)

[그림 V-2] IPCC 보고서 국문 번역본 및 해설서

나. 유엔기후변화협약(UNFCCC³⁾)

1992년 리우 유엔환경개발회의(UNCED⁴)에서 채택된 기후변화를 막기 위한 국제 협약으로, 우리나라를 포함한 전세계 195개국이 기후변화에 대처하기 위해 본 협약에 참여하고 있다. 기상청은 유엔기후변화협약(UNFCCC) 과학기술자문부속기구회의(SBSTA⁵)의 '연구 및 체계적 관측(Research and Systematic Observation)' 의제(agenda)에 참여·대응하고 있다.

다. 기타 기후변화 국제협력

<p>APCC (APEC Climate Center)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ■ 지구온난화, 엘니뇨 등의 이상기후와 그로 인한 사회·경제적 피해를 경감시키기 위해 국제 협력을 통한 공동대처의 필요성이 증대됨에 따라, 아시아·태평양 지역의 기후 예측 정보의 생산 및 전달, 활용에 대한 중추적인 역할을 수행하기 위해 APEC 회원국 합의에 의해 설립된 기관임
<p>GAW (Global Atmosphere Watch)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ■ 세계기상기구(WMO)에서 만든 지구대기감시 프로그램으로 대기를 관측하고, 미래의 대기 상태를 예측하기 위해 체계적인 관측자료를 제공하며 각 국의 환경정책 수립과 지구환경을 과학적으로 이해할 수 있도록 지원함
<p>IOC (Intergovernmental Oceanographic Commission)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ■ 정부 간 해양학위원회(IOC)는 유엔(UN) 시스템 내에서 해양과학을 담당하는 기구이다. 전 지구적 해양과학조사 및 해양서비스를 촉진, 해양의 지속 가능한 개발, 해양 생태계 관리·개선 등의 목적을 두고있음
<p>GFCS (Global Framework for Climate Services)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ■ 전지구기후서비스체제(GFCS)는 각 분야의 국제기구들이 기후 분야에 대한 정보를 제공하면 이러한 기후정보들을 정부, 연구자부터 민간 상업, 농업 분야까지 사용자들이 잘 이용할수 있도록 하는 세계기상기구(WMO) 내 조직임

3) United Nations Framework Convention on Climate Change

4) United Nations Conference on Environment and Development

5) Subsidiary Body for Scientific and Technical Advice

2 「IPCC 제6차 평가보고서(AR6) 종합보고서」 주요내용

2023년 3월 19일 IPCC 제58차 총회에서 IPCC 제6차 평가주기('15~'23)에 나온 모든 특별보고서와 실무 그룹별 보고서의 핵심 내용만을 담은 종합보고서의 정책결정자를 위한 요약본이 195개 회원국의 만장일치로 승인되었다.

기후변화에 대한 전 세계의 합의문이자 기후위기 대응을 위한 교과서라 불리는 IPCC 보고서 중 특히 이번 종합보고서는 2015년 체결된 파리협정(Paris Agreement)에 대한 전 세계 당사국의 이행 여부와 수준을 점검하는 제1차 전 지구적 이행점검(1st Global Stocktake)의 근거로 활용되는 매우 중요한 자료이다.

						
1.5°C 특별보고서	토지 특별보고서	해양 및 빙권 특별보고서	제1실무그룹 (기후변화과학)	제2실무그룹 (기후변화 영향·적응·취약성)	제3실무그룹 (기후변화 완화)	종합보고서

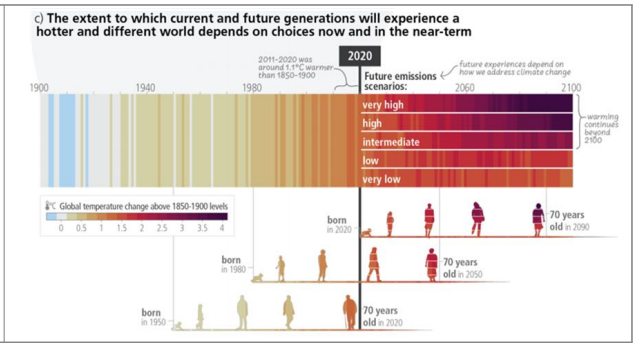
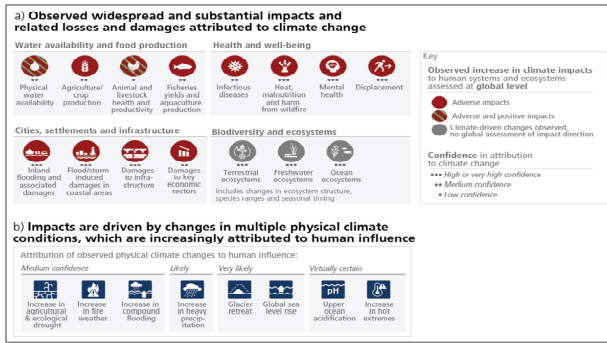
[그림 V-3] IPCC 제6차 평가보고서

종합보고서의 정책결정자를 위한 요약본(SPM⁶)은 A. 현황 및 추세, B. 장기 기후변화·리스크·대응, C. 단기 대응의 세 부분으로 구성되어 있으며 주요 내용은 다음과 같다.

① 현황 및 추세

- 인간 활동으로 인한 온실가스 배출로 산업화 이전(1850~1900년) 대비 현재(2011~2020년)까지 전지구 지표 온도는 1.09°C 상승함
- 육상, 대기, 해양, 빙권 등 여러 부문에 걸쳐 광범위하고 급격한 변화가 나타났으며, 농업·작물 생산 및 수산업, 건강 및 웰빙, 도시·정주·인프라 등 여러 부문에서 부정적인 영향이 증가함. 폭염, 폭우 등 극한 현상의 빈도·강도도 증가함
- 현재의 기후변화 대응의 선택이 미래 세대의 환경에 영향을 미침

6) Summary for Policymakers



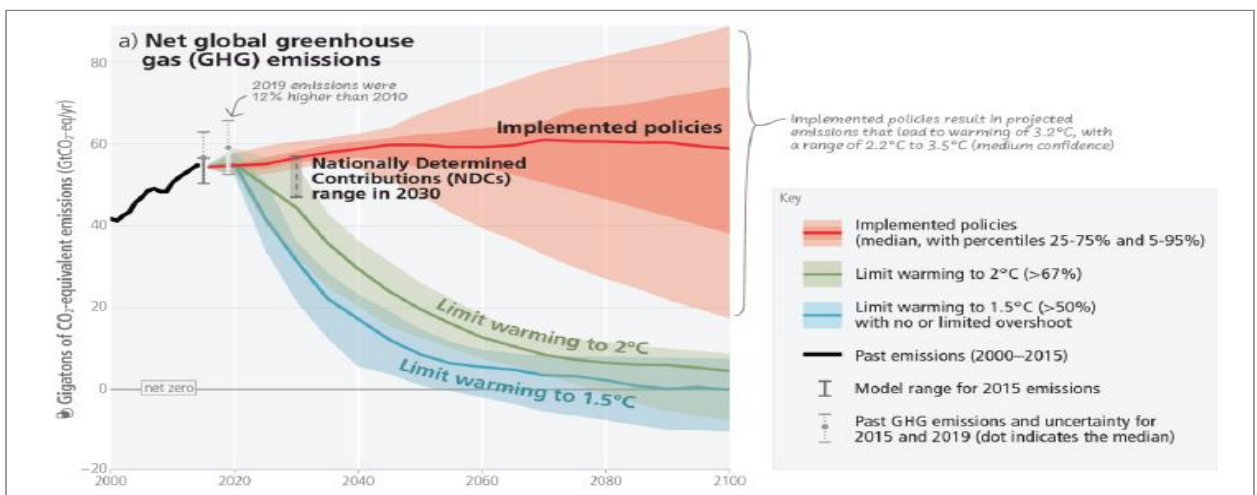
[그림 V-4] SPM.1: 패널 a) 물 이용, 식량 생산, 건강, 도시 등에서 광범위하고 급격하며 부정적인 영향 증가, 패널 b) 관측된 영향은 가뭄 증가, 산불, 홍수, 집중호우 등, 인간에게 영향을 미치는 물리적 기후 조건의 변화와 연결되어 있음

[그림 V-5] SPM.1 패널 c) 역사적으로 현재 기후변화에 가장 적게 기여한 3세대(2020년생)는 기후변화에 가장 큰 부정적인 영향을 경험하고 있음

- 기후 완화를 위한 의욕 상향 및 행동 강화 노력에도 불구하고 추가적인 정책 이행의 강화가 없다면, 2030년 배출량은 국가온실가스감축목표(NDC7)) 배출량보다 많을 것으로 전망함

② 장기 기후변화·리스크·대응

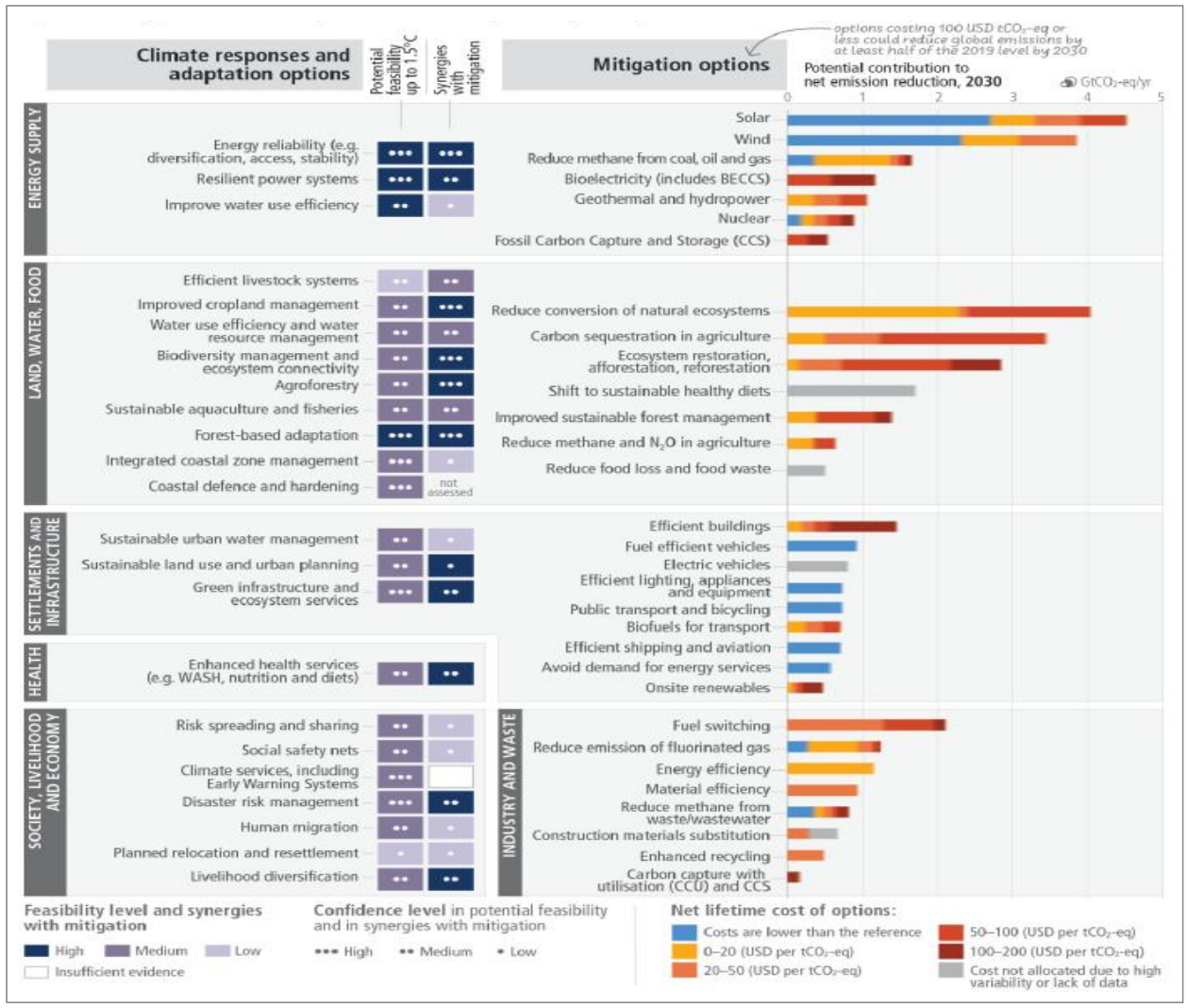
- 거의 모든 시나리오에서 가까운 미래(2021~2040년)에 1.5°C 초과 전망, 온난화의 심화는 복합·동시적인 기후 위험의 증가를 수반함
- 온난화를 1.5°C/2°C로 억제하기 위해서는 2030년까지 온실가스 배출량을 2019년 대비 43%/21%, 2035년까지 60%/35%, 2040년까지 69%/46% 감축이 필요함. 즉 온난화를 1.5°C 또는 2°C로 억제하는 완화 경로는 이번 10년 동안 모든 부문에서 빠르고 강력하고 즉각적인 온실가스 감축을 포함함



[그림 V-6] SPM.5: 패널 a) 지구온난화를 1.5°C 또는 2°C로 억제하는 목표 달성을 위해서는 상당한 이산화탄소 감축이 필요하며, 전 지구 온실가스 배출은 1.5°C 또는 2°C 제한 경로에서 2020년, 늦어도 2025년 사이에 정점에 도달함. 현재 시행되고 있는 정책의 강화 없이는 2100년까지 3.2°C 지구온난화 전망

③ 단기 대응

- 기후탄력적개발(CRD)⁸⁾ 경로로의 전환을 위한 정부의 역할 강조
- 완화와 적응을 통합하는 포괄적·효과적·혁신적 대응은 적응과 완화 간의 시너지 효과를 높이고 상충 효과는 감소시킴



[그림 V-7] SPM.7

(좌) 기후대응/적응 옵션의 타당성 및 완화 옵션 간의 시너지

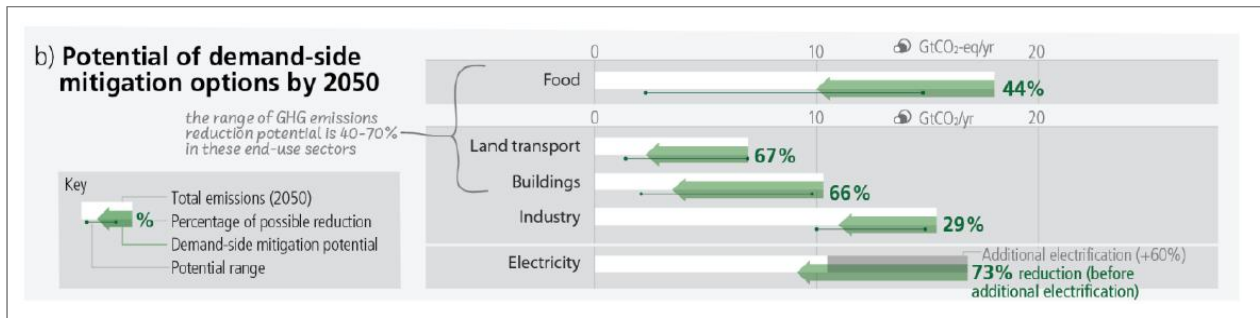
- 부문: 에너지, 토지·물·식품, 정주지·인프라, 건강, 사회·생계·경제
- 타당성 차원: 경제적, 기술적, 제도적, 사회적, 환경적, 지구물리적 차원에서 적응 옵션의 타당성을 평가

(우) 완화 옵션의 2030년 예상 비용 및 잠재력

- 부문: 에너지, 토지·물·식품, 정주지·인프라, 건강, 사회·생계·경제
- 비용: 기준 기술 대비 회피된 온실가스 배출량에 대한 생애주기 할인 비용
- 잠재력: 비용 범주별 순 온실가스 감축량

8) Climate Resilient Development; CRD: 지속 가능한 발전을 위해 온실가스 완화 및 적응 조치를 함께 시행하는 과정

- 수요 측면의 감축(걷기, 건강한 식단, 쓰레기 감소 등)을 통해 2050년까지 2019년 온실가스 배출량 대비 40~70% 감축 가능



[그림 V-8] SPM.7: 패널 b) 2050년까지의 수요 측면의 완화 옵션의 잠재력을 나타낸 그림

- (백색 막대) 베이스라인, 2050년 부문별 온실가스 배출량
- (녹색 화살표) 감축 잠재력, 수요 측면의 감축 잠재력을 의미
- (회색 막대) 추가적인 전기 수요, 다른 부문의 전기화 증가로 인한 전기 수요 증가를 의미

- 모든 부문에 걸친 신속한 시스템의 전환, 다양한 완화 및 적응 옵션의 확대 필요

- ① **에너지:** 넷제로는 △화석연료 사용의 상당한 감소, △에너지 생산의 다양화(풍력, 태양 에너지 등), △탄소 포집 및 저장 기술을 사용하지 않는 화석연료의 감소 필요
- ② **산업:** 온실가스 배출량을 줄이기 위해서는 △수요 관리, △에너지 및 재료 효율성 강화, △재활용, 재사용 등을 포함한 자원 및 에너지 투입의 최소화 필요
- ③ **인프라:** 주요 적응 및 완화 요소로는 △자동차 활용을 최소화 한 도시(Compact city)를 위한 토지 이용 계획, △건물을 효과적으로 디자인, 건설, 활용하는 것, △대중교통에 대한 투자가 있음

- 효과적인 기후행동을 위한 거버넌스, 제도, 정책의 역할 강조

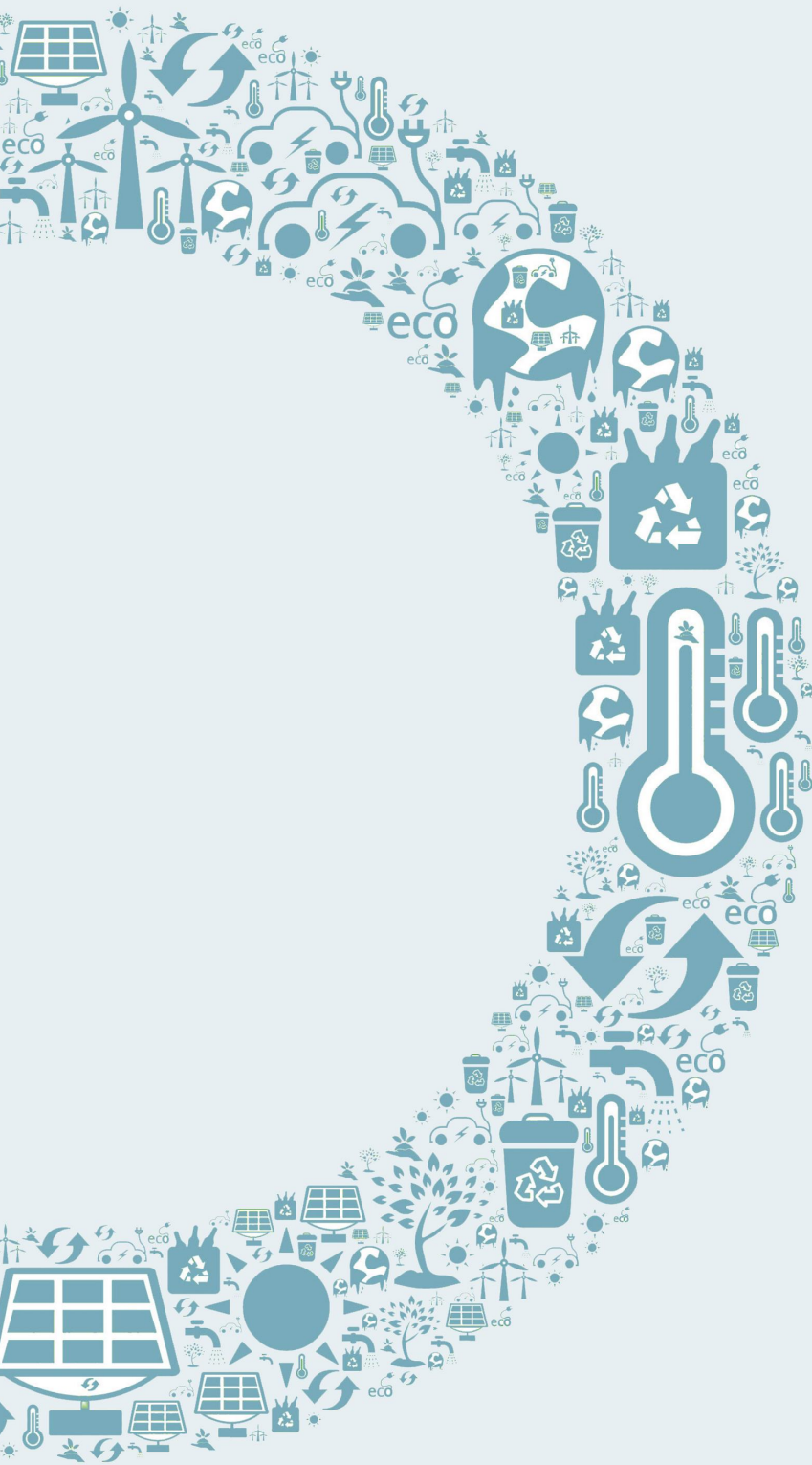
- ① **거버넌스:** 기후행동을 위한 거버넌스는 △정책 전반에 걸친 기후 행동의 중요성 강조, △모니터링·평가 및 규제의 강화, △재정과 기술 접근성의 증진 등의 방법으로 접근 필요
- ② **국가제도:** 정책지원에 있어 시민사회(기업, 청년, 여성, 노동자, 미디어, 토착민 및 지역주민)의 역할이 중요
- ③ **정책:** 규제 및 경제 정책 수단의 확대는 온실가스 배출량 감축을 지원, △탄소가격제(탄소세, 배출권 거래제)는 온실가스 배출량을 감축하기 위한 저비용 방법을 효과적으로 지원
- ④ **화석연료 정책:** 화석연료에 대한 공공·민간재원은 기후적응 및 완화 재원을 상회, 화석연료 보조금 제거 정책은 배출감축 뿐 아니라 공공수익·거시경제·지속가능성을 향상시킴

- 기후 행동의 가속화를 위해서는 금융, 기술, 국제협력이 중요

- ① **금융:** 2020~2030년 완화를 위한 연간 평균 투자비는 현재 수준보다 3~6배 증가 필요, 총 완화 투자비(공공, 민간, 국내 및 국제) 역시 모든 부문, 지역에서 증가 필요
- ② **기술:** 국가 상황 및 기술 특성에 맞는 정책 패키지가 필요하며 이는 저배출 혁신 및 기술 확산 지원에 효과적
- ③ **국제협력:** 초국가적 파트너십과 환경·부문별 협정, 제도 및 이니셔티브는 국내 정책 개발, 저배출 기술 확산 및 배출량 감축을 촉진

9) 기존에 운영 중인 그리고 향후 계획된 화석연료 인프라로 인한 이산화탄소 배출량은 1.5°C 잔여탄소배출허용총량을 상회하고 2°C 잔여탄소배출허용총과는 거의 비슷한 수준

이번 종합보고서가 말하고자 했던 핵심 메시지는 “향후 10년(2021~2030년)의 기후 행동이 미래의 온난화 제한을 결정한다”는 것이다. 전 세계 회원국이 만장일치로 통합적인 단기 기후 행동의 시급성을 강조했으며, 더 나아가 과학기술, 산업, 정책, 제도, 국제협력 등 단기 기후 행동을 위한 여러 가지 방법을 제시하여, 우리에게 아직 희망이 남아있음을 강조했다는 데에 의의가 있다.



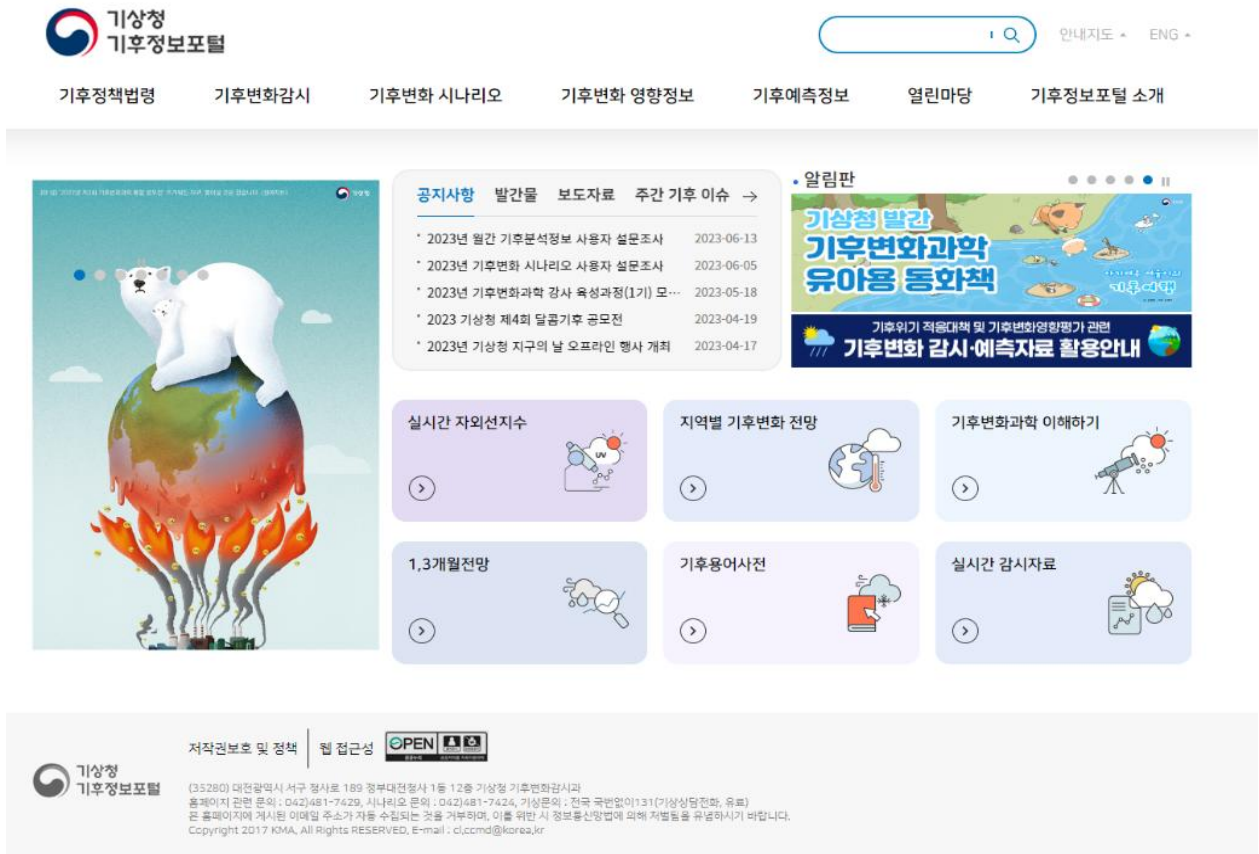
부 록

1. 기후정보포털 소개
2. 기후·기후변화 관련 발간물 및 정보지 현황
3. 용어설명
4. 제4회 달콤기후 공모전 수상작
5. 기상청 기후·기후변화 업무소개

1 기후정보포털 소개

가. 기후정보포털(climate.go.kr)이란?

기후에 관한 정보를 통합하여 누구나 쉽게 접근할 수 있는 인터넷 기반 정보를 제공하여 국민, 정책결정자 등의 정보 활용을 증대하기 위하여 만든 페이지로 기후정책법령, 기후변화감시, 기후변화 시나리오, 기후변화 영향정보, 기후예측정보, 열린마당, 기후정보포털 소개, 영향정보, 기후예측정보 등 다양한 정보를 제공하고 있다.

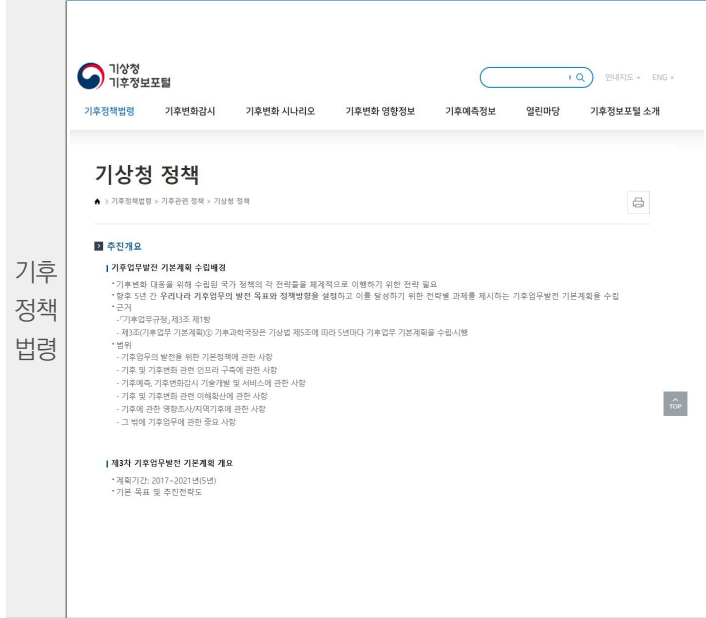


[그림 부록-1] 기후정보포털 메인화면

나. 기후정보포털 주메뉴

기후정책법령	기후변화감시	기후변화 시나리오	기후변화 영향정보	기후예측정보	열린마당
<ul style="list-style-type: none"> 기후정책 연구개발 국제협력활동 기후관련법령 	<ul style="list-style-type: none"> 종합감시정보 감시망 감시장비 감시자료 입체관측 	<ul style="list-style-type: none"> 소개 미래기후전망 과기기후전망 다운로드 표준시나리오인증 	<ul style="list-style-type: none"> 소개 기상·기후 부문 농업·축산 부문 해양·수산 부문 산림·생태계 부문 보건 부문 	<ul style="list-style-type: none"> 기후감시정보 기후분석정보 장기전망 엘니뇨·라니냐 원격상관 	<ul style="list-style-type: none"> 공지사항 자료실 발간물 기후사전 관련 사이트 포털 소개

표출 화면

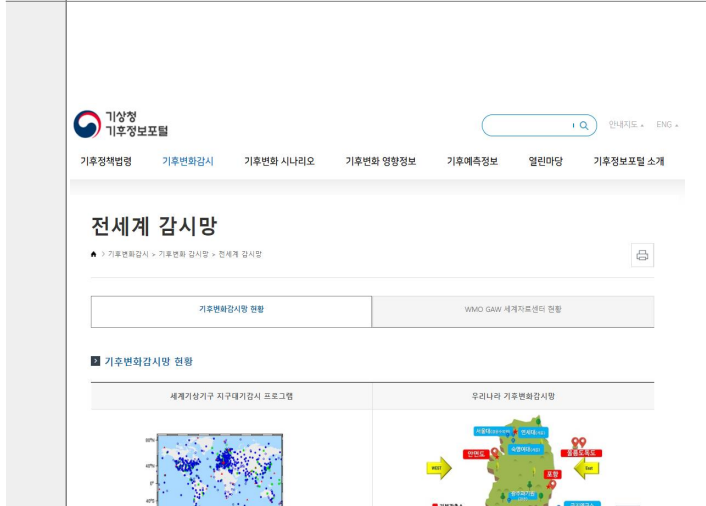


기후 정책 법령

세부 메뉴/내용

기후관련 정책 • 기상청 정책 • 기후관련 정책정보	기후분야 연구개발 • 연구개발 소개 • 자체 연구개발 • 출연 연구개발	국제협력 • IPCC • GFCS • APCC • GAW • JCOMM • DBCP • IOC	기후관련 법령 • 기후관련 법령
---	---	--	-----------------------------

기후관련 정책과 법령 등의 내용을 소개하고 있으며, 기후분야의 연구개발 사업과 과제목록을 제공함



기후 변화 감시

종합 기후변화감시 정보 • 대기(대기조성) • 대기(기상요소) • 육상 • 해양	기후변화 감시망 • 전세계감시망 • 국내기후변화감시소	기후변화감시장비 • 온실가스 • 반응가스 • 에어로졸 • 대기복사 • 성층권 오존 • 자외선 • 총대기침적
---	--	---

기후변화감시자료 • 지구대기감시자료 • 실시간 감시자료	입체관측 • 에어로졸라이더·운고계 • 항공기 • 선박 • 서해상 대기질 입체관측
---	---



기후변화감시망, 기후변화감시장비 등을 소개하고 각종 기후변화 실시간 감시자료나 관측자료들을 제공하고 있음

표출 화면

세부 메뉴

기후 변화
시나리오

개념

기후변화 시나리오 소개

정리와 용어성

시나리오 종류

기후변화 시나리오의 필요성

기후변화 시나리오는 온실가스, 에어로졸, 토지이용 변화 등 인위적인 원인으로 발생한 복사강제력 변화를 지구시스템 모델에 적용하여 산출한 미래 기후 전 망정보(기온, 강수량, 바람, 습도 등)이다.

기후변화 시나리오는 미래에 기후변화로 인한 영향을 평가하고 피해를 최소화하는데 활용할 수 있는 선택적인 정보로 활용되며, 한반도 지역별 상세 기후변 화 전망은 지자체별 기후변화 대응과 적응대책 수립을 위한 필수적인 정보이다.

기후변화 시나리오의 목표는 단순히 미래를 예측하는 것이 아니라, '영향위작게' 발생할 수 있는 모든 범위의 미래 '를 고려하여 신뢰할 수 있는 의사결정을 위해 불확실성을 이해하는 것이다.

<p>시나리오 소개</p> <ul style="list-style-type: none"> 개념 산출방법 Q&A 활용매뉴얼 	<p>미래 기후전망</p> <ul style="list-style-type: none"> 격자 행정구역 영향정보 	<p>과거 기후변화</p> <ul style="list-style-type: none"> 관측자료 MK-PRISM(격자) MK-PRISM (행정구역)
<p>다운로드</p> <ul style="list-style-type: none"> 데이터 보고서 	<p>표준 시나리오 인증</p> <ul style="list-style-type: none"> 시나리오 인증제도 인증 절차/신청 서식 	

기후변화 시나리오와 인증제도를 소개하고 활용 매뉴얼을 제공하며 격자 기후자료와 시나리오 자료 등을 다운 받을 수 있음

기후 변화
영향 정보

기후변화 영향정보란?

기후변화 영향정보란?

기후변화 영향정보란?

날씨는 시시각각 바뀌는 대기의 상태이고 기후는 날씨의 평균적인 상태를 의미합니다. 따라서 날씨는 그때 그때 상황에 따라서 변하는 기본과 같은 것이고 기후는 환경이나 유전에 의해 형성되는 성격과 같습니다.

기후변화는 오랜 기간(통상적으로 10년 이상의 긴 기간) 동안 통계적으로 유의한 수준의 기후 평균상태 또는 변동성의 변화를 나타냅니다. 기후변화는 사회와 대기, 해양, 빙권, 생물계 등 자연계에 영향을 미치고 있으며, 다른 환경적, 사회적 요인들과 상호작용을 합니다. 이러한 기후변화 영향이란 자연적이거나 인공적인 원인으로 발생한 기후의 변화가 자연과 사회 시스템에 미치는 영향을 의미합니다.

<p>기상·기후 부문</p> <ul style="list-style-type: none"> 계절길이 이열대화 극한고온 극한강수 대기정체 	<p>농업·축산 부문</p> <ul style="list-style-type: none"> 곡식 과일 고령지배추 가축 	<p>해양·수산 부문</p> <ul style="list-style-type: none"> 해수면 높이 수산업 변화 백화현상
<p>산림·생태계 부문</p> <ul style="list-style-type: none"> 수종의 변화 해충의 증가 생물 다양성 감소 	<p>보건 부문</p> <ul style="list-style-type: none"> 폭염 감염병 	

자연적·인공적 원인으로 발생한 기후변화가 자연과 사회 시스템에 미치는 영향을 각 부문별로 제공함

표출 화면

기후
예측
정보

세부 메뉴

기후감시 정보 <ul style="list-style-type: none"> 우리나라 기온 현황 우리나라 강수 현황 	기후분석 정보 <ul style="list-style-type: none"> 기후 특성분석 월간 기후분석정보 	장기전망 <ul style="list-style-type: none"> 장기전망 소개 1개월전망 3개월전망 3개월전망 해설서 계절기후전망 연기후전망
---	---	---

엘니뇨·라니냐 <ul style="list-style-type: none"> 정의 및 영향 감시·발생현황 모델예측결과 엘니뇨·라니냐 전망 WMO전망 	원격상관 <ul style="list-style-type: none"> 기압계동향 북극진동(AO) 눈덮임 해빙 MJO
--	---

우리나라 및 전지구의 기후감시요소의 현황을 제공하며 기후 특성 분석과 예측자료를 제공함

번호	제목	작성자	작성일	조회수
6788	2023 기상청 제4회 달동기후 공모전	관리자	2023-04-19	138
6787	2023년 기상청 지구의 날 오프라인 행사 개최	관리자	2023-04-17	417
6785	IPCC AR6 종합보고서 승인기념 포스터 안내	관리자	2023-04-12	168
6775	'지역 기후변화 전망보고서' 수정 알림	관리자	2023-03-13	596
6769	기후정보포털 종합 기후변화감시정보 리뉴얼 공지	관리자	2023-02-20	462
6753	남한상세 기후변화 시나리오 중간결과 및 추가변수 제공 안내	관리자	2023-01-27	730
6746	'우리나라 109년 기후변화 분석보고서' 수정 알림	관리자	2023-01-04	1009
6742	2022년 기후변화 시나리오 및 전망정보 서비스 개선 사항	관리자	2022-12-28	881
6725	[중요] 2022년 기후정보포털 사용자 만족도 조사	관리자	2022-11-02	1026
6720	[중요] 기후정보포털 시스템 작업 안내(10.21. 10:00~11:00)	관리자	2022-10-20	378
6716	2022년 기상청 우리동네 기후변화 분석 경진대회 수상작 발표	관리자	2022-09-30	605

열린
마당

공지사항 <ul style="list-style-type: none"> 공지사항 	자료실 <ul style="list-style-type: none"> 보도자료 기후변화과학콘텐츠 주간 기후 이슈 	발간물 <ul style="list-style-type: none"> 지구대기감시보고서 이상기후보고서 IPCC보고서 기후변화 시나리오 기술노트 기타
--	--	---

기후사전 <ul style="list-style-type: none"> 기후용어사전 기후변화감시 용어 설명집 악어사전 	관련 사이트 <ul style="list-style-type: none"> 정부기관 연구기관 민간환경단체 (NGOs) 국제기구
---	---

기후관련 행사 등의 내용을 홍보하고, 기후변화과학 콘텐츠, 기후관련 보고서 등 각종 발간물을 제공함

다. 기후정보포털 소개 카드뉴스

기후변화 과학정보에 관한 모든 것은 여기에

기후정보포털

『기후정보포털』은 기후변화 과학정보에 대한 국민의 이해를 돕고 관련기관의 기후변화 연구결과와 활용도를 높이기 위해 운영되는 플랫폼으로, 기후변화에 대한 감시, 예측, 시나리오, 정책 등 다양한 정보를 제공하고 있습니다.

www.climate.go.kr

기후정보포털에서 서비스되고 있는 주요 콘텐츠에 대해 알아보아요?

첫째, 기후변화감시 정보입니다.

기후변화감시란, 지구대기감시와 인위적·자연적 요인에 따른 기후시스템의 장기변화 상황을 파악·분석하는 분야입니다.

기후정보포털 메뉴 > 기후변화감시 > 종합기후변화감시

- 국내외 온실가스 및 자외선 등 최신 자료를 확인할 수 있으며, 그외 기후변화 감시 관측량, 관측장비 등의 정보로 구성

둘째, 기후변화 시나리오입니다.

기후변화 시나리오란, 온실가스, 에어로졸, 토지이용 변화 등 인위적인 원인으로 발생한 **복사강제력** 변화를 지구시스템 모델에 적용하여 산출한 미래 기후 전망정보입니다.

*복사강제력이란? 어떠한 인자가 지구-대기 시스템에 영향을 주어 에너지 평형을 유지하며 변화시키게 하는 영향의 척도. 지구온 온도를 상승시키는 방향으로 작용하면 양의 복사강제력(+), 지구온 온도를 하강시키는 방향으로 작용하면 음의 복사강제력(-)

기후정보포털 메뉴 > 기후변화 시나리오

- 시나리오 정의 및 종류에 대한 개념 이해, 과거 기후변화자료 및 시나리오별 미래 기후변화 자료 조회 및 다운로드 가능

셋째, 기후변화 영향정보입니다.

기후변화 영향정보란, 자연적이거나 인위적인 원인으로 발생한 기후의 변화가 자연과 사회 시스템에 미치는 영향을 의미합니다.

기후정보포털 메뉴 > 기후변화 영향정보

- 기상·기후·농업·산림·생태계 등 각 분야별 기후변화로 인해 나타날 수 있는 현재 및 미래의 영향정보로 구성

넷째, 기후예측정보입니다.

기후예측이란, 특정지역의 기후에 관한 미래의 상황을 예상하는 것을 말하며, 장기예보 및 기후전망을 포함합니다.

기후정보포털 메뉴 > 기후예측정보

- 기온·강수 등 현황자료와 과거 기상통계자료를 통한 기후분석정보, 1-3개월전망 및 엘니뇨, 라니냐 등의 원력장관 등의 정보로 구성

기후정보포털에 대해 이해가 되셨나요? 이번에는 **'기후변화 시나리오'**에 대해 더욱 자세히 알아보겠습니다.

기후변화 시나리오란, 온실가스 변화 등의 인위적인 원인에 따른 기후변화를 전망하기 위해서 예상되는 미래 온실가스 농도와 기후변화 예측모델을 이용하여 계산한 **미래기후 전망정보**입니다.

미래 기후변화 전망정보의 대표 종류는 크게 **SSP 및 RCP시나리오**로 나누어집니다.

미래 기후변화 전망정보

- SSP시나리오
- RCP시나리오

SSP 공통사회 경제경로 Shared Socioeconomic Pathways *IPCC 6차 평가보고서 적용

SSP는 온실가스 감축 수준 및 기후변화 적응대책 수행 여부 등에 따라 미래 사회경제 구조가 어떻게 달라질 것인가를 고려한 새로운 온실가스 경로입니다.

종류	의미	전지구 기온 (21세기말)
SSP 1-2.6	사회 불균형의 감소와 전환적 기술의 빠른 발달로 기후변화 완화, 적응능력이 높은 지속가능한 사회경제 구조의 저탄소 시나리오	+1.9°C
SSP 2-4.5	중도상향의 사회경제 시나리오로 기후변화 완화 및 사회경제 발전 정도가 중간 단계 가정	+3.0°C
SSP 3-7.0	사회경제 발전의 불균형과 제도적 제한으로 인해 기후변화에 취약한 상태에 놓이는 사회경제 구조의 시나리오 (Baseline)	+4.3°C
SSP 5-8.5	기후 정책 부재, 화석연료 기반 성장과 높은 인적 투자로 기후변화 적응능력은 높지 않음, 완화능력이 낮은 사회경제 구조의 고탄소 시나리오	+5.2°C

RCP 대표농도경로 Representative Concentration Pathways *IPCC 5차 평가보고서 적용

RCP는 대기 중 온실가스 농도에 따라 미래가 얼마나 달라질 것인가를 나타내는 시나리오입니다.

종류	의미	CO2 농도	전지구 기온 (21세기말)
RCP2.6	저렴부터 극저 온실가스 감축 수행	420ppm	+1.3°C
RCP4.5	온실가스 저감정책 상당히 실현	540ppm	+2.4°C
RCP6.0	온실가스 저감정책 어느 정도 실현	670ppm	+2.7°C
RCP8.5	현재 추세대로 온실가스 배출 유지	940ppm	+4.0°C

기후변화 적응을 위한 사회·경제적 노력

- SSP 5: 고속성장 경로 (에너지 수요 절감)
- SSP 3: 불균형성장 경로 (에너지 수요 절감)
- SSP 2: 중도상향 경로 (완화·적응노력의 조화)
- SSP 1: 저속성장 경로 (에너지 수요 절감)
- SSP 4: 불균형성장 경로 (완화·적응노력 불균형)

기후예측정보

온실가스	RCP	온실가스	RCP
온실가스 감축률 즉시 수행하는 경우	2.6	온실가스 저감 정책이 어느 정도 실현되는 경우	6.0
온실가스 420ppm		온실가스 저감 정책이 어느 정도 실현되는 경우	8.5
온실가스 540ppm		온실가스 저감 정책이 어느 정도 실현되는 경우	940ppm

RCP 숫자는 온실가스로 인한 추가적인 지구온상에너지량을 의미하며

(예) RCP8.5: CO2 농도가 940ppm이 되면 태평양내에서 8.5W/m² 추가 흡수

기후정보포털 내 기후변화 시나리오는 크게 **'과거 기후변화자료'**와 **'미래 기후전망자료'**로 구성되어 있습니다.

기후정보포털

기후정보포털 내 기후변화 시나리오는 크게 **과거 기후변화**

먼저, **'과거 기후변화'**는 전국 각 지역에 위치한 **중관기상관측 장비(ASOS)의 관측자료를** 이용하여 지점별 과거 기후자료의 추세를 분석할 수 있으며, **격자 및 행정구역 자료를** 활용하여 우리나라의 이미지와 위경도 자료를 확인할 수 있습니다.

관측자료

- **지점** 전국(6,45,62개 점교), ASOS 지점(95개)
- **기간** 1904년~
- **요소** 기온, 강수량, 습도, 풍속, 신적설, 극한기후지수, 응결정보

MK-PRISM 비파, 행정구역

- **지점** 격자, 행정구역(읍면동 기준)
- **기간** 2000~2019년
- **요소** 기온, 강수량, 극한기후지수

세부적으로는 '과거 기후변화', '관측자료'를 통해 **최근·과거비교, 기본분석, 비교분석, 기타분석**의 확인과 분석이 가능합니다.

최근·과거 비교자료는 최근 및 과거 기간에 대해 10년·30년 단위로 지역별 기후자료 비교가 가능하며,

과거 기후변화 > 관측자료 > 최근·과거비교

시계열



기본분석자료는 과거 109년 동안 기후요소별 변화경향 그래프와 경향성(10년당 변화율)을 연별, 월별, 계절별로 분석이 가능합니다.

과거 기후변화 > 관측자료 > 기본분석

평균기온, 남한(6개 지점 평균), 1912~2020년(연), 변화경향



비교분석자료는 두 종류의 지역 또는 기간에 대한 변화경향 및 편차 비교 분석이 가능하며,

과거 기후변화 > 관측자료 > 기타분석 > 기본값 분석

최고기온이 36°C 이상, 광주, 1991~2020년(연별), 변화경향



기타분석자료는 히트맵, 산점도, 계절길이 등 다양한 방법의 시각화로 기후변화 경향 분석이 가능합니다.

과거 기후변화 > 관측자료 > 기타분석 > 히트맵

평균기온, 남한(6개 지점 평균), 1912~2020년(연), 변화경향



'과거 기후변화'-'격자 기후자료'(MK-PRISM)는 한반도의 고해상도 격자형 관측자료를 의미하며, 관측자료를 내삽하여 1km 해상도의 격자자료로 산출한 다음 각 행정구역에 해당하는 격자를 평균하여 행정구역별 자료를 생산합니다.

격자기후자료는 지자체 기후변화 적응대책 수립 및 기후변화 영향, 적응, 취약성 평가에 활용됩니다.

MK-PRISM (행정구역)

미래 기후전망

'미래 기후전망'은 SSP 및 RCP시나리오를 활용하여 격자 및 행정구역기반의 시나리오별 21세기 미래 기후전망을 분포도와 시계열로 확인할 수 있으며, RCP시나리오 기반의 **부문별(농업, 방재, 보건 등) 미래 영향정보**를 확인할 수 있습니다.

격자

- 해상도 전지구(135m), 동아시아(25km), 한반도(12.5m), 남한상세(1km)
- 기간 1850~2100년
- 요소 기온, 강수량, 극한기후지수, 영향정보 등

행정구역

- 지점 행정구역(읍면동기준)
- 기간 2021~2100년
- 요소 기온, 강수량, 극한기후지수, 영향정보 등



세부적으로는 '미래 기후전망'-'격자'를 통해 SSP 및 RCP 시나리오에 따른 대기와 해양에 대한 미래 기후전망자료를 전지구, 동아시아, 남한상세로 세분화하여 분포도 및 시계열로 자료를 확인할 수 있습니다.

또한, 격자 자료의 분포도를 지도 위에 띄워 확인이 가능하며, 특정 위경도 지점에 대해 분석을 수행하여 표출 이미지와 데이터를 다운로드 할 수 있습니다.

기타분석은 히트맵, 산점도, 계절길이 등 다양한 방법의 시각화로 2100년까지의 미래 기후변화 경향을 분석할 수 있습니다.

분석 예시



발행주기	발간물·정보지명	주요내용	제공형식/제공방법
주	1개월전망	평균기온 및 강수량, 이상기후 전망정보	웹파일(PDF)/ 기상청 날씨누리, 기후정보포털
	기상가뭄 1개월전망	기상가뭄 최근 현황과 전망	웹파일(PDF)/ 수문기상가뭄정보시스템, 기상청 날씨누리
월	3개월전망/ 3개월전망 해설서	평균기온 및 강수량, 이상기후 전망정보/전망 생산에 대한 배경 설명	웹파일(PDF)/ 기상청 날씨누리, 기후정보포털
	월간 해양 기상·기후정보	해양 기상·기후특성과 해상안전 정보	웹파일(PDF)/ 기상청 누리집
	월간 기후분석정보	우리나라 및 전지구 월간 기후동향, 기후요소 비교, 전세계 기상재해, 기후이슈 등	웹파일(PDF)/ 기상청 누리집, 기후정보포털
	가뭄 예·경보	정부 관계부처 합동 가뭄 3개월 전망	웹파일(PDF)/ 수문기상가뭄정보시스템, 기상청 날씨누리
	유역별 월간 강수통계정보	과거 강수량과 그 해 매월 강수량을 유역별로 비교·분석한 통계 정보	웹파일(PDF)/ 수문기상가뭄정보시스템
	계절 기후전망	발표일 다다음 계절에 대한 평균기온, 강수량, 엘니뇨·라니냐 전망정보	웹파일(PDF)/ 기상청 날씨누리, 기후정보포털
분기, 계절	계절별 기후특성 정보	계절별 전세계 및 우리나라 기온·강수 등 기후특성 분석	웹파일(PDF)/ 기상청 누리집, 기후정보포털
	유역별 계절 강수통계정보	과거 강수량과 그 해 계절별 강수량을 유역별로 비교·분석한 통계정보	웹파일(PDF)/ 수문기상가뭄정보시스템
	이상기후보고서	이상기후 발생현황과 원인, 분야별 사회·경제적 영향과 대응, 향후계획을 수룩한 관계부처 합동보고서	책자, 웹파일(PDF)/ 기후정보포털
연	연 기후특성보고서	전지구·우리나라 기후 이슈 및 이상기후 발생을 야기하는 기후적 요인 분석	책자, 웹파일(PDF)/ 기후정보포털
	관계부처 합동 국가가뭄정보통계집	연도별 가뭄 발생 현황, 피해, 대응, 복구 관련 통계자료 제공	책자, 웹파일(PDF)/ 수문기상가뭄정보시스템
	유역별 강수통계정보	과거 강수량과 그 해 강수량을 유역별로 비교·분석한 통계정보	책자, 웹파일(PDF)/ 수문기상가뭄정보시스템
	지구대기감시보고서	한반도 지구대기감시업무 특성 및 분석보고서	책자, 웹파일(PDF)/ 기후정보포털
	연기후전망	평균기온, 강수량, 엘니뇨·라니냐 전망정보	웹파일(PDF)/ 기후정보포털

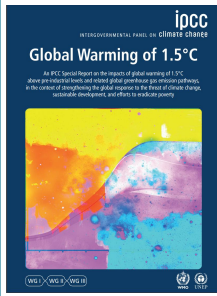
발행주기	발간물·정보지명	주요내용	제공형식/제공방법
	기상가뭄 발생 특성	기상가뭄 발생특성 및 사례분석	웹파일(PDF)/ 수문기상가뭄정보시스템
	한국 기후변화 평가보고서 (발간주기 비정기)	IPCC평가보고서 등을 바탕으로 한반도와 관련된 기후변화 연구결과	책자, 웹파일(PDF)/ 기후정보포털
	장마백서 (발간주기 비정기)	장마의 기후학적 특징, 발생 원인 등 분석	책자, 웹파일(PDF)/ 기후정보포털
단행본	IPCC 제6차 평가보고서 제1실무그룹 보고서 SPM	IPCC AR6 제1실무그룹 보고서(기후변화 과학적 근거) 정책결정자를 위한 요약본	웹파일(PDF)/ 기후정보포털
	IPCC 제6차 평가보고서 제1실무그룹 보고서 SPM 해설서	IPCC AR6 제1실무그룹 보고서(기후변화 과학적 근거) 정책결정자를 위한 요약본 해설서	책자, 웹파일(PDF)/ 기후정보포털
	IPCC 제6차 평가보고서 제2실무그룹 보고서 SPM	IPCC AR6 제1실무그룹 보고서(기후변화 영향) 정책결정자를 위한 요약본	웹파일(PDF)/ 기후정보포털
	IPCC 제6차 평가보고서 제3실무그룹 보고서 SPM	IPCC AR6 제3실무그룹 보고서(기후변화 완화) 정책결정자를 위한 요약본	웹파일(PDF)/ 기후정보포털
	IPCC 제6차 평가보고서 제3실무그룹 보고서 SPM 해설서	IPCC AR6 제3실무그룹 보고서(기후변화 완화) 정책결정자를 위한 요약본 해설서	책자, 웹파일(PDF)/ 기후정보포털
	기후변화 시나리오 활용사례집	국가 정책, 연구기관 등 기후변화 시나리오 활용사례	책자, 웹파일(PDF)/ 기후정보포털
	행정구역별 전망보고서	새로운 국제표준(AR6)에 따른 행정구역별 미래 전망정보	책자, 웹파일(PDF)/ 기후정보포털
	남한상세 기후변화 전망보고서	새로운 국제표준(AR6)에 따른 남한상세(1km) 미래 전망정보	책자, 웹파일(PDF)/ 기후정보포털
	한반도 기후변화 전망보고서	새로운 국제표준(AR6)에 따른 한반도 고해상도(25km) 미래 전망정보	책자, 웹파일(PDF)/ 기후정보포털
	전지구 기후변화 전망보고서	새로운 국제표준(AR6)에 따른 전지구(135km) 미래 전망정보	책자, 웹파일(PDF)/ 기후정보포털
	해양기후 분석보고서	40년(1981~2020년) 동안의 파고, 해수면 온도, 풍속 등 장기변동 추세, 기간별 비교분석 등	책자, 웹파일(PDF)/ 기후정보포털
	기후변화과학 용어 설명집	기후변화 관련 용어설명	책자, 웹파일(PDF)/ 기후정보포털
	우리나라 109년 기후변화 분석보고서	1912~2020년까지 기상관측자료를 활용하여 장기 기후변화 및 최근 기후변화 경향 분석	책자, 웹파일(PDF)/ 기후정보포털
	지구온난화 1.5℃ 특별보고서 해설서	IPCC 1.5℃ 지구온난화 배출 경로, 미래 기후변화 전망과 영향 등	책자, 웹파일(PDF)/ 기후정보포털
	우리나라의 기후변화 영향	사회 각 부문별 관계부처 등에서 생산한 기후변화 영향정보	책자, 웹파일(PDF)/ 기후정보포털

가. 발간물

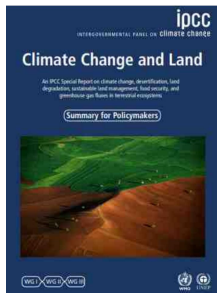
기후변화 시나리오, 영향정보 보고서				
	전지구 기후변화 전망보고서	한반도 기후변화 전망보고서	남한상세 기후변화 전망보고서	지역 기후변화 전망보고서
				
	우리나라의 기후변화 영향	2021년도 우리나라 기후변화 영향조사	기후변화 시나리오 활용사례집	기후변화 시나리오 사용자 매뉴얼

기후· 기후변화 감시분석 보고서				
	지구대기감시보고서	연 기후특성보고서	이상기후 보고서	
				
	장마백서	한국 기후변화 평가보고서	우리나라 109년 기후변화 분석 보고서	해양기후 분석보고서

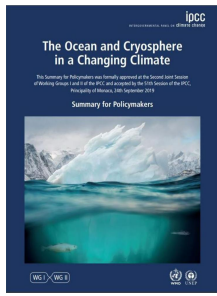
IPCC
보고서



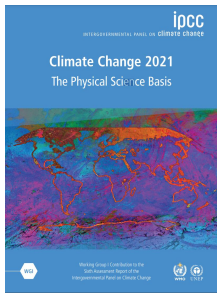
1.5°C 특별보고서



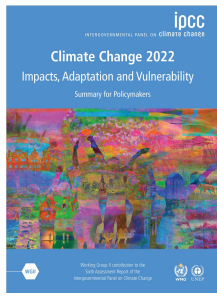
토지 특별보고서



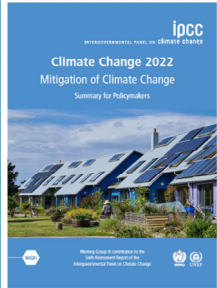
해양 및 빙권
특별보고서



제1실무그룹
(기후변화과학)



제2실무그룹
(기후변화 영향·
적응·취약성)



제3실무그룹
(기후변화 완화)



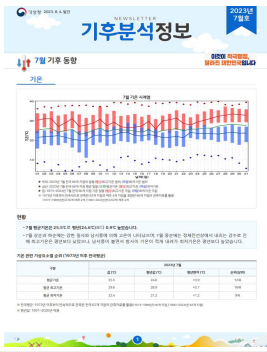
종합보고서



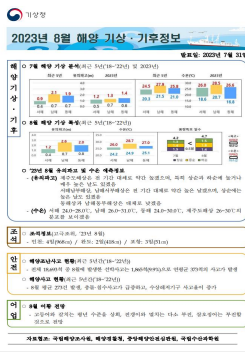
IPCC 보고서 해설서



기후·기후변화 분석

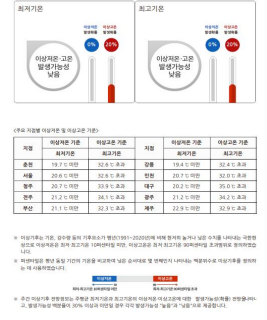
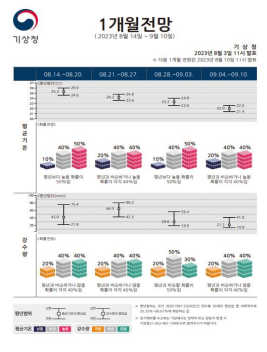


월별 기후분석정보지

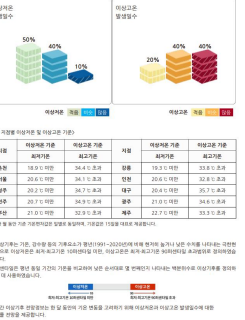
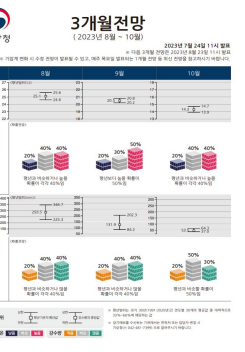


해양 기상·기후정보지

기후예측정보



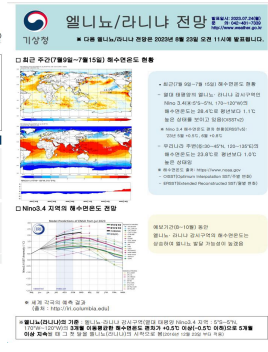
1개월전망



3개월전망

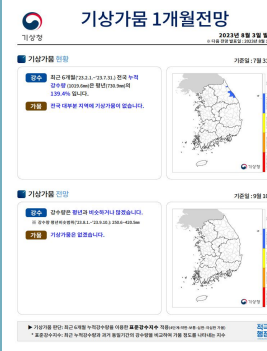


계절/연 기후전망

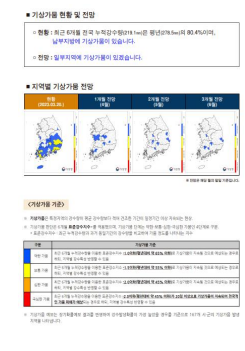


엘니뇨/라니냐 전망

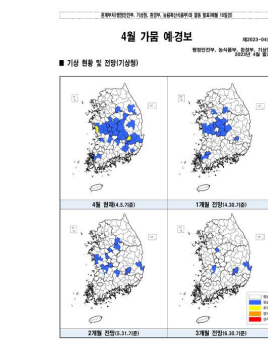
기상기름 전망



1개월전망



3개월전망

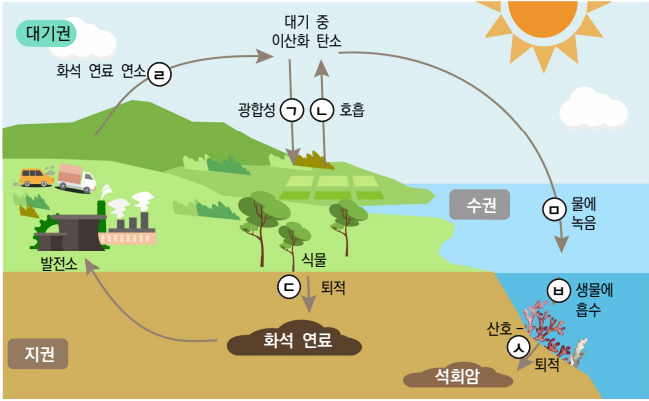
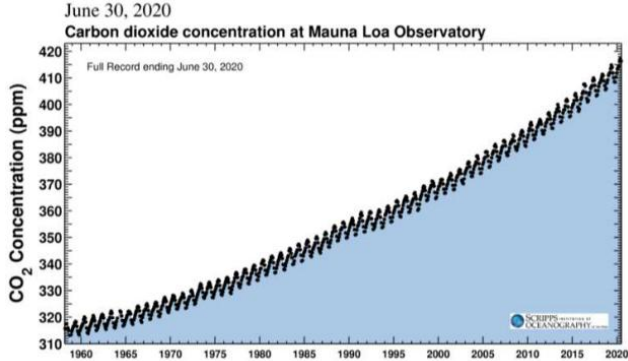


기름 예·경보

기후	<ul style="list-style-type: none"> 기후는 장기간(대개 30년)에 걸친 날씨(기상)의 평균이나 변동의 특성을 말한다. 세계기상기후(WMO)가 정한 평균 산출기간은 30년이다. 과학자들은 기후가 변하고 있다는 것을 확인하고(IPCC 평가보고서), 이는 인류의 에너지 수요 급증으로 인한 화석연료 사용 증가 등 인간 활동으로 인하여 발생했을 가능성이 매우 높다고 평가하였다.
기상	<ul style="list-style-type: none"> 바람·비·구름·눈 등의 대기 중에서 일어나는 여러 가지 물리 현상 우리가 경험하는 날씨는 대기권에서 지표와 가장 가까운 대류권에서 일어나며, 순간적이고 국지적인 다양한 기상현상으로, 시시각각 변하는 특성이 있다. 보통, 지구의 기분은 '기상', 지구의 성격은 '기후'로 비유한다.
기후요소	<ul style="list-style-type: none"> 기후는 다양한 요소로 구성되는데, 기온, 강수량, 적설, 풍향·풍속 등이 있다. 예시: "여름은 무덥고 비가 많다"에서 기후요소는 강수량, 기온임
기후인자	<ul style="list-style-type: none"> 기후요소의 시간적·공간적 차이를 가져오는 원인을 말하며, 위도, 수륙분포, 지형, 해류, 기압 등이 있다.
기후변동	<ul style="list-style-type: none"> 긴 시간 동안의 평균값에서 약간의 변화를 보이지만, 평균값을 크게 벗어나지 않는 자연적인 기후의 움직임이다. 기후는 느리게 변하는 경향이 있는데 보통 몇 달에서 수십 년에 걸쳐 기후변동 현상이 나타난다. ※ 예: 적도 부근의 해수면 온도는 몇 년 주기로 온난화와 냉각화가 번갈아 나타남
기후변화	<ul style="list-style-type: none"> 자연적 기후변동의 범위를 벗어나 더 이상 평균적인 상태로 돌아오지 않는 평균 기후계의 변화를 말한다. 기후변화는 기후의 상태변화가 기후 특성의 평균이나 변동성의 변화를 통해 확인되고 그 변화가 수십 년 이상 지속되는 것을 말하며 자연적 원인(태양에너지 변화, 지구공전궤도 변화, 화산활동, 내부변동성 등)이나 인간 활동으로 인한 대기조성(온실가스, 에어로졸 등) 또는 토지이용의 변화 등 외부강제력 변화 때문에 발생한다. <div data-bbox="454 1187 1332 1489" style="text-align: center;"> <p style="text-align: center;"><기후변동과 기후변화></p> </div>
지구온난화	<ul style="list-style-type: none"> 석탄, 석유 등 화석연료의 연소, 삼림 훼손, 농업 활동 증가 등으로 대기 중 온실가스(이산화탄소, 메탄, 아산화질소, 불소화합물 등) 농도가 높아지면서 온실효과가 증가하여 발생하는 기후변화 현상이다.
기후변화 원인	<ul style="list-style-type: none"> 지구 기후가 변하는 원인은 크게 자연적인 원인과 인위적인 원인으로 구분할 수 있다. 자연적인 원인으로는 태양 복사에너지 변화, 지구공전궤도 변화(밀란코비치 이론), 화산활동 또는 조산 활동 등이 원인이 되며, 내부에서는 기후시스템의 자연 변동성으로 인한 엘니뇨, 북극진동, 몬순(장마) 등과 대기 및 해양 순환의 변화가 원인이 된다. 인위적인 원인으로는 이산화탄소 등 온실가스 농도 증가와 에어로졸 농도 변화 등이 있으며 삼림훼손이나 토지이용도 변화 등 환경 변화도 포함된다.

- 1) Aerosol Optical Depth
- 2) Precision Filter Radiometers
- 3) 10억분의 1미터

태양에너지 변화	<ul style="list-style-type: none"> 태양에너지는 수백만 년 이상 장기적인 생애에 따른 에너지 변화뿐만 아니라 11년 주기의 흑점활동으로 인해 방출되는 에너지가 변한다. 지구에 도달하는 에너지가 감소하면 기온이 낮아지는데, 15-18세기에 걸쳐 나타난 소빙기는 태양 흑점 활동이 적었던 시기와 관련이 있다. 이 시기를 흑점의 극소기라 하고, 기후와 태양 흑점과의 연관성을 입증한 영국의 천문학자 이름을 따 '마운더 극소기(Maunder Minimum)'라고 부른다. 태양의 복사에너지는 흑점이 많을 때 크고, 적을 때 작아진다.
지구공전궤도 및 자전축의 변화	<ul style="list-style-type: none"> 지구공전궤도의 변화는 세르비아의 과학자 밀루틴 밀란코비치(1879-1958)가 지구 기후변화를 설명하기 위해 최초로 제안했다. 지구가 자전과 공전을 함에 따라 지구 공전 궤도 이심률(E)과 자전축 경사(T)의 변화, 세차운동(P)에 따라 지구와 태양 사이의 거리가 달라지며, 도달하는 태양에너지 양도 달라지는데 이러한 태양에너지 변화가 지구 기후에 영향을 미친다는 이론이다. 지구공전궤도의 변화 중 이심률은 대략 10만년, 41만년, 자전축 경사는 4만년, 세차운동은 2만 6천년 주기를 가지고 변하는데, 이에 따른 태양에너지 변화와 고기후 연구로 구한 지난 백만년 동안 빙하시대의 기후변화가 밀접한 관계를 보이는 것이 밝혀졌다.
화산활동	<ul style="list-style-type: none"> 화산활동으로 많은 양의 화산재가 방출되면 일부는 성층권에 도달하게 되어 수년간 머무르면서 태양 복사를 반사하여 지표에 도달하는 태양에너지가 감소하여 냉각화되는 현상이 나타난다. 1991년에 폭발한 필리핀의 피나투보 화산은 2천만 톤의 이산화황이 분출되어 성층권을 통해 전지구를 순환하면서 1~3년 동안 지구 평균 기온을 0.2~0.5℃ 냉각시켰다.
온실가스 농도 증가	<ul style="list-style-type: none"> 대기 중 이산화탄소 농도가 높아질수록 전지구 평균기온이 높아진다. 이산화탄소, 메탄, 아산화질소의 인위적 온실가스 배출이 온난화의 주원인일 가능성이 높으며, 특히 이산화탄소의 배출량이 전체 온실가스 배출량의 많은 부분을 차지한다. 이산화탄소 배출의 증가는 전세계 경제 성장과 인구 증가에 의한 것이나, 최근에는 대부분 경제 성장에 의한 것으로 보인다.
토지 이용 변화	<ul style="list-style-type: none"> 토지는 생물다양성 뿐만 아니라 식량공급, 담수와 기타 다양한 생태계 서비스 등 인간의 생태와 복지의 근간을 제공한다. 토지는 온실가스 배출원인 동시에 흡수원이며 지표면과 대기 간 에너지, 물, 에어로졸의 교환에 중요한 역할을 한다. 지구상 부동지역(ice-free land) 중 1/4 정도가 인간에 의해 황폐화 되었고, 기후변화로 인해 저지대 해안지역, 하천의 삼각주, 영구동토 지역에서 특히 심하다. 지난 50년(1959~2009년) 동안 전체 배출량의 82%는 화석연료 이산화탄소 배출량에 의한 것이며, 18%는 토지이용 변화에 의해 배출된 것으로 추정된다.
기후시스템	<ul style="list-style-type: none"> 기상이나 기후를 결정하는 광역적인 지구시스템으로 대기권, 수권, 빙권, 생물권, 지권의 5개 요소로 구성되어 있다. 기후시스템 안에서 각 요소는 끊임없이 활발하게 서로 작용을 한다. 해양은 대기에 열과 수증기를 공급하고 대기는 해양에 운동에너지를 주고 있다. 빙권은 지구의 반사도(알베도)를 변화시켜 지구의 복사수지에 영향을 미친다. 지권은 식생과 토양을 통해 대기로 에너지를 방출하며, 생물권은 탄소순환 등으로 기후시스템에 영향을 미친다. 지구의 기후변화를 이해하려면 이러한 모든 요소를 한 틀에서 고려하여야 한다.
기후되먹임 (피드백)	<ul style="list-style-type: none"> 기후시스템에 존재하는 각 과정들 사이에서 최초 과정의 결과가 두 번째 과정에 변화를 촉발하고 이 과정이 다시 최초의 과정에 변하여 영향을 미칠 때, 이러한 상호작용 메커니즘을 말한다. ① 양의 되먹임 : 지구온난화 → 반사도 높은 눈빙하 녹음 → 햇빛 흡수 증가 → 온난화 가속 ② 음의 되먹임 : 지구온난화 → 수증기 증발량 증가 → 구름의 햇빛 반사 증가 → 햇빛 흡수 감소 → 온난화 감소(그러나 구름이 증가하는 경우 온실효과 증가로 양의 되먹임도 나타나서 구름 증가의 효과는 불확실함)

<p>탄소 순환</p>	<ul style="list-style-type: none"> 탄소가 형태를 바꾸면서 기후시스템 내의 지권, 대기권, 수권, 생물권 사이를 이동하며 순환하는 것을 탄소 순환이라고 한다. 
<p>탄소 수지</p>	<ul style="list-style-type: none"> 최근 10년간(2009-2018년) 이산화탄소의 배출량은 화석연료의 연소 및 시멘트 생산으로 34.7GtCO₂, 삼림훼손 등 자연환경변화로 5.5GtCO₂가 배출되고 식물의 광합성과 해양의 흡수로 96%가 소멸되어, 나머지 4%가 남아 탄소 수지 불균형이 이루어진다. [출처: http://globalcarbonproject.org] 1GtCO₂ = 이산화탄소 10억톤, 1GtC = 탄소 10억톤, 1GtC = 3.664GtCO₂
<p>킬링곡선</p>	<ul style="list-style-type: none"> 1958년부터 지구대기의 이산화탄소 농도를 나타낸 그래프로 최초로 이산화탄소 농도를 측정한 찰스 데이비드 킬링(1928-2005)의 이름을 따서 지어졌다. 기후변화의 원인이 되는 순수한 지구 배경대기 값을 얻기 위해 하와이 마우나로아에서 이산화탄소 농도를 측정해 왔으며 이산화탄소의 농도 변동이 계절적인 변동을 넘어 매년 증가하는 것을 발견하였다.  <p style="text-align: center;"><마우나로아 이산화탄소 농도 그래프> [출처 : https://scripps.ucsd.edu/programs/keelingcurve/]</p>
<p>온실가스</p>	<ul style="list-style-type: none"> 대기 중에 가스 상태로 장기간 체류하면서 대부분의 태양복사를 투과시키고 지표면에서 방출하는 지구 복사를 흡수하거나 재방출하여 온실효과를 유발하는 물질이다. 온실효과를 유발하여 지표온도를 상승시킬 수 있는 온실가스 중에는 이산화탄소 이외에 메탄, 아산화질소, 염화불화탄소 등의 미량기체를 꼽을 수 있다.
<p>지구온난화 지수</p>	<ul style="list-style-type: none"> 이산화탄소 1kg과 비교하여 온실가스가 대기 중에 방출된 후 특정기간 그 가스 1kg의 상대적 온난화 효과
<p>복사강제력 (Radiative Forcing, RF)</p>	<ul style="list-style-type: none"> 기후변화를 일으키는 물질들의 영향력을 나타내는 척도로 단위면적 당 에너지 변화율로 표현(W/m²). 양의 복사강제력은 지구-대기시스템의 에너지를 증가시키고, 음의 복사강제력은 감소시킨다.
<p>온실효과</p>	<ul style="list-style-type: none"> 대기 중의 수증기와 이산화탄소 등이 온실의 유리처럼 작용하여 지구 표면의 온도를 높게 유지하는 효과를 말한다. 대기는 태양에서 복사되는 단파장을 거의 통과시켜 지표면까지 도달하게 하지만, 지표면에서 방출되는 복사는 파장이 길기 때문에 대기 중의 수증기·이산화탄소·오존 등에 대부분 흡수되거나, 다시 열로 지표면으로 방출된다. 이 결과 지표면과 하층대기는 온도가 상승하게 된다.

이산화탄소 상당량	<ul style="list-style-type: none"> 온실가스 농도를 지구온난화 효과를 기준으로 이산화탄소 농도로 환산한 값. 환산 농도에는 모든 온실가스(대류권 오존 포함) 및 에어로졸과 알베도 변화에 의한 복사강제력이 포함된다. 1750~2011년 간 총 인위적 복사강제력 2.3 W/m^2은 이산화탄소상당량으로 환산($\text{CO}_2\text{-상당농도}=278 e^{\text{RF}/5.35}$)하면 430 ppm에 해당된다(IPCC 제5차 보고서).
반응가스	<ul style="list-style-type: none"> 다른 가스 상 물질들과의 결합력이 좋아 대기 중에 체류시간이 짧기 때문에 반응가스라 부른다. 이 가스는 1차 오염물질과 2차 오염물질로 나뉘는데 배출원에서 바로 배출된 물질이 1차 오염물질이고 배출된 이후 대기 중에서 다른 화학반응으로 새롭게 생성된 물질을 2차 오염물질이라고 한다.
에어로졸	<ul style="list-style-type: none"> 대기 중에 떠 있는 고체 또는 액체 상태의 작은 입자(약 $0.001\sim 100 \mu\text{m}$)로 연무, 황사, 안개 등의 기상 현상과 관련이 있다. 바람에 의한 비산, 화산폭발, 해염, 산불 등 자연적인 요인과, 산업 활동, 자동차 등 인간활동의 결과로 생성된다.
에어로졸 광학깊이	<ul style="list-style-type: none"> 에어로졸 광학깊이(AOD₁)는 태양복사가 대기의 상한에서 지표까지 도달하는 동안 대기 중 에어로졸에 의해 감쇄되는 효과를 나타내는 척도이다. 지상에서 정밀필터복사계(PFR₂)와 같은 태양광도계를 사용하거나 인공위성에서 관측할 수 있다.
PM10	<ul style="list-style-type: none"> 눈에 보이지 않을 만큼 미세한 입자의 먼지로, 지름 $10 \mu\text{m}$(마이크로미터, $1 \mu\text{m}=1000$분의 1 mm) 이하의 먼지. PM(Particulate Matter)이란 대기 중에 떠다니는 고체 또는 액체 상태의 미세한 입자를 뜻한다.
에어로졸과 기후변화	<ul style="list-style-type: none"> 에어로졸은 전체적으로 온실가스와는 달리 기후를 냉각시키는 역할을 하며 기후변화에 영향을 미치는 3가지 효과는 다음과 같다. <ol style="list-style-type: none"> 에어로졸-복사 상호작용: 태양복사를 산란하거나 흡수해서 복사수지 변화 에어로졸-구름 상호작용: 구름 알베도 변화, 구름 수명 변화 눈과 얼음 표면의 검명으로 인한 지표 알베도 변화 에어로졸의 복사강제력은 전지구 평균 $-0.9(-1.0\sim -0.1)\text{W/m}^2$(1750~2011년)이다.
산성비	<ul style="list-style-type: none"> 산성비란 말 그대로 산성을 띤 빗물로, 빗물의 pH가 정상(5.6)보다 낮을 때를 말하며, 자연 상태에서 오염되지 않은 빗물의 경우에도 이산화탄소가 빗물에 녹아 있기 때문에 빗물에 포함된 수소이온의 물 농도는 pH 5.6이다. $\text{pH} = -\log[\text{H}^+] = 5.6$ 대기 중 이산화황과 질소산화물 등이 물과 반응하여 황산과 질산 등의 산성 물질이 되고, 빗방울과 섞여 지면으로 떨어진다.
강수화학	<ul style="list-style-type: none"> 대기 중에 부유하는 가스상, 입자상의 물질이 비, 눈, 안개 등에 의해 지상에 낙하 또는 침착하여 떨어진 강수를 시료로 이용하여 화학성분을 분석하는 것을 말한다. 지구대기감시 강수화학 분야에서는 강수의 산성도, 전기전도도, 이온 성분 등을 측정한다.
대기복사	<ul style="list-style-type: none"> 대기복사는 태양복사와 지구복사로 구분할 수 있는데, 지구대기에 유입되는 에너지는 태양에서 방출한 빛에너지이다. 태양복사는 가시광선, 적외선, 자외선을 모두 포함하는데 그 중 가시광선을 가장 많이 방출하며, 대기를 통과하면서 일부는 구성성분에 의해 산란, 반사 또는 흡수되고 나머지는 지표에 도달한다. 태양에너지는 공기, 지표 등 기후시스템을 가열하는데 사용되므로 지구 대기를 움직이는 1차 원동력 이자 지구상의 모든 생명체를 위해 필수적인 에너지원이다. 지구복사는 지구가 흡수한 태양에너지와 거의 같은 양의 에너지를 적외선 복사의 형태로 우주 공간으로 내보내는 것을 말하는데, 지구의 지표, 대기, 구름 등 모든 물체에서 절대온도에 따라 복사에너지를 방출한다. 복사에너지: 모든 물체는 물체의 절대온도의 네제곱에 비례하여 전자기파의 형태로 에너지를 방출하며 다른 물질의 도움을 받지 않고 직접 전달되는 에너지임

순복사	<ul style="list-style-type: none"> 태양 및 지구복사의 입사량과 방출량 차이를 말한다. 순복사 = 태양하향복사 - 태양상향복사 + 지구하향복사 - 지구상향복사 순복사는 지표 에너지수지를 결정하는 중요한 요소로 일별 순복사는 열대와 아열대지역, 적도 근처에서 일년 내내 양의 값을 가지는 반면, 그 외 지역에서는 양과 음의 값이 계절에 따라 다양하게 나타난다.
복사수지	<ul style="list-style-type: none"> 지구와 지구대기가 태양에너지를 우주로 방출하는 것보다 더 많이 흡수하면 지구는 따뜻해지고, 지구와 지구시스템이 태양으로부터 받는 것보다 더 많이 방출하면 지구는 차가워진다. 흡수된 에너지와 방출된 에너지가 균형을 이루면서 변하지 않는 상태를 복사평형이라고 한다.
자외선	<ul style="list-style-type: none"> 자외선복사의 파장 영역은 100~400 nm³)이며, 이는 자외선A(320~400 nm), 자외선B(280~320 nm), 자외선C(100~280 nm)로 분류된다. 자외선복사는 복사파장, 태양천정각, 오존 및 기타 미량기체, 구름, 에어로졸 등에 영향을 받는다. 따라서 자외선복사의 변화폭은 매우 크다. 오존변화는 자외선에 영향을 끼치며 특히 파장이 짧은 영역에서 변화가 커 오존층 감소에 따라 그 복사량 증가가 우려되면서 기후환경에 중요한 문제가 되고 있다.
자외선지수	<ul style="list-style-type: none"> 태양고도가 최대인 남중시각 때 지표에 도달하는 자외선 영역의 복사량을 지수식으로 환산한 것을 말한다. 자외선으로 인해 우리 몸의 피부가 얼마만큼 위험할 수 있는가 하는 정도를 숫자로 나타낸 것으로 위험, 매우높음, 높음, 보통, 낮음 5단계로 제공되며, 숫자가 높을수록 위험하다.
성층권의 오존	<ul style="list-style-type: none"> 성층권 오존은 대기 중 21%를 차지하는 산소 분자가 태양 자외선복사와 화학반응을 일으켜 자연적으로 형성된다. 이 화학 반응들은 성층권에 태양복사가 존재할 때 발생하며 열대지방의 성층권에서 오존이 가장 많이 생성된다. 성층권의 오존 생성은 화학반응으로 파괴되는 오존에 의해 균형을 이룬다. 성층권의 오존 일부는 규칙적으로 대류권에 수송되어 내려오고 때때로 지표면의 오존량, 특히 지구상에서 오염이 되지 않은 외딴 지역의 오존량에 영향을 미칠 수 있다. 성층권 오존은 태양빛 뿐 아니라 다양한 자연·인위적 화학물질과 지속적으로 반응을 일으키는데 오존을 파괴하는 주요 반응성 가스는 산화수소와 산화질소, 그리고 염소와 브롬이 함유된 반응성 가스가 있다.
오존층	<ul style="list-style-type: none"> 지구대기에 존재하는 오존의 약 90%는 지표 위 10km(극지역)~16km(열대지역) 이상에서 50km까지의 성층권에 존재하며 나머지 약 10%의 오존은 지표에서 성층권 하부지역에 위치한 대류권에 존재한다. 성층권은 대류권 상층부로부터 약 50km 고도까지는 기온이 계속 상승하여 약 50km 고도에서 0℃의 기온을 나타내는 안정한 대기층으로 주로 분자 확산에 의해 기체의 이동이 이루어진다. 성층권 내에서 20~25km 사이의 오존이 밀집되어 있는데 이 층을 오존층이라 한다. 오존층은 태양으로부터의 자외선 복사를 흡수하여 자외선의 대부분을 지표면에 도달하기 전에 막아주는 보호막 역할을 한다.
오존전량	<ul style="list-style-type: none"> 오존전량은 지상 어느 위치든 그 위치 상공에 존재하는 오존분자의 총량으로 정의되며 위도, 경도, 계절에 따라 달라진다. 오존전량의 약 90%는 성층권에 존재하기 때문에 성층권 오존을 나타내는 값으로 사용할 수 있다. 성층권 오존은 지구 대기로 입사하는 유해한 자외선을 흡수해 지상의 생태계를 보호하는 역할을 한다. (지구분포) 태양자외선 복사에 의한 오존 생성 비율이 열대지방에서 최댓값을 보이며 성층권 내 공기 대순환으로 열대지방 오존이 극지방으로 서서히 수송되기 때문에 오존층의 두께는 중위도와 고위도에서 두껍고, 저위도에서는 상대적으로 얇아진다. (계절분포) 북반구의 오존전량은 봄에 뚜렷한 최댓값을 갖고 여름부터 가을까지 값이 낮아지는 계절변동을 보인다. 이는 늦가을과 겨울동안 열대지방에서 극지방으로 오존 수송이 증가하여 봄철 고위도에서 최댓값을 보인다.
오존홀	<ul style="list-style-type: none"> 남극대륙의 늦겨울에서 초봄 사이에 성층권 오존층이 심각하게 파괴된 영역을 오존홀이라고 한다. 오존전량이 220 DU보다 낮은 영역을 의미하며, 남극 극소용돌이에서 제트기류가 강화되는 8~12월 사이에 오존홀이 생기며, 주로 남극 봄인 9~10월에 최대면적을 보인다.

<p>오존층 파괴</p>	<ul style="list-style-type: none"> ■ 성층권 오존은 태양 자외선과 산소 분자가 포함된 화학반응으로 자연적으로 생성된다. ■ 오존은 성층권에서 다양한 자연적인 요소와 인간이 만들어 낸 화학성분에 끊임없이 반응하며, 각 반응에서 오존 분자를 잃어버리고 다른 화학 성분이 생성된다. ■ 염소와 브롬을 포함하는 중요한 반응가스는 오존을 파괴한다. ■ 오존층 파괴물질: 몬트리올 의정서(Montreal Protocol)에 의거하여 세계적으로 규제되는 인위적인 할로겐 발원가스임. 이 기체들은 염소와 브롬 원자를 성층권으로 유입시켜 오존을 파괴하는 화학반응을 일으킴. 한때 거의 모든 냉장고와 에어컨 냉매제로 사용되었던 염화불화탄소와 소화기에 사용되었던 할론이 대표적인 예임
<p>프레온가스 대체물질</p>	<ul style="list-style-type: none"> ■ 프레온가스의 대체물질은 수소불화탄소와 과불화탄소로 에어컨과 냉장고 등의 냉매로 쓰이며 온실 가스에 해당한다.
<p>해양 기후변화</p>	<ul style="list-style-type: none"> ■ 해양의 기후변화는 해양 온도 상승, 해양 산성화, 해수면 상승으로 나타나는데 해양은 표면의 온도가 가장 빨리 상승하지만 깊은 곳까지 온도가 올라가는 현상이 관측되고 있다. ■ 또한, 대기 중 이산화탄소를 흡수하면서 해양의 산성화가 진행되고 있어 앞으로 해양생태계에도 악영향을 미칠 것이 우려된다. 해수면 상승은 주로 육지빙하가 녹은 물이 해양에 유입되거나 해양의 온도가 상승함에 따라 물의 부피 팽창으로 상승하고 있는데 앞으로 해수면 상승으로 연안지역의 해수 범람과 갯벌생태계에 심각한 영향을 미칠 것으로 예상된다.
<p>빙권의 기후변화</p>	<ul style="list-style-type: none"> ■ 빙권은 지구시스템 중 결빙상태에 있는 구성요소를 말한다. 지구의 육지 가운데 약 10%는 빙하 또는 빙상으로 덮여있다. 지난 수십 년 동안, 지구온난화로 인해 빙상 및 빙하의 질량이 손실되었으며 적설 면적과 극지방의 해빙 면적과 두께의 감소로 인해 빙권이 광범위하게 줄었으며 영구 동토층의 온도도 상승했다. <p>[출처: IPCC 변화하는 기후에서의 해양 및 빙권 보고서, 2019]</p>
<p>지권의 기후변화</p>	<ul style="list-style-type: none"> ■ 토지는 온실가스 배출원인 동시에 흡수원이며 지표면과 대기 간 에너지, 물, 에어로졸의 교환에 중요한 역할을 한다. 토지이용 또는 기후변화에 의한 토지 조건의 변화는 극한 현상의 강도와 빈도, 지속 기간에 영향을 미칠 수 있다. 이러한 변화의 규모와 방향은 위치와 계절에 따라 달라진다.
<p>알베도</p>	<ul style="list-style-type: none"> ■ 표면이나 물체에 입사된 일사에 대한 반사된 일사의 비율을 말하며 퍼센트(%)로 표현한다. ■ 눈이 덮인 표면은 높은 알베도를 가지며 흙이 덮인 표면의 알베도는 높은 값에서부터 낮은 값까지 다양하고 초목으로 덮인 표면과 해양은 낮은 값을 보인다. 지구의 알베도는 구름·눈·얼음·나뭇잎으로 덮인 지역 및 토지 피복도의 변화 정도가 변함에 따라 주로 바뀐다.
<p>알베도 효과</p>	<ul style="list-style-type: none"> ■ 알베도는 지구의 표면에 흡수되는 태양 에너지의 양을 결정하는 역할을 하기 때문에 지구의 에너지 균형에 중요한 역할을 한다. 일반적으로 지구의 표면에 흡수된 에너지는 표면 온도를 상승시킬 뿐만 아니라 물을 증발시키고 눈과 얼음을 승화시킨다. ■ 따라서 알베도는 대기와 지표의 열수분 지수에 영향을 미치며 토양 시스템에 대한 많은 유용한 정보를 제공하고 토양의 에너지 균형을 이해하는데 도움을 준다. 이러한 이유로 세계기상기구(WMO)에서는 기후변화 메커니즘의 이해와 예측을 위한 필수기후변수로 중 하나로 알베도를 선정하였다. ■ 지구 평균 알베도가 0.01이 변하는 것은 대기 중의 이산화탄소를 두배로 늘린 것의 영향과 비슷한 3.4 W/m²의 전지구 복사수지의 변화를 일으킨다. <p>[네이버 지식백과] 알베도 [Albedo] (기상학백과, 한국기상학회)</p>
<p>평년</p>	<ul style="list-style-type: none"> ■ 정해진 기간에 대해 표준으로 인식되는 기상요소의 평균값을 말한다. 기상청의 기후통계지침에 의하면 ‘평년값(Normals)’은 서기 연도의 끝자리 숫자가 1인 해부터 시작하여 연속된 30년간에 대해 산출한 누년평균값을 표준으로 한다. 다만 이용 가능한 자료가 30년 미만 10년 이상 되는 기간 평균값에 대해서도 평년값에 준하여 사용할 수 있다고 정의되어 있다. ■ ‘기후표준평년값(Climatological Standard Normals)’은 고정된 30년간 관측한 기후학적 자료의 평균값으로 1931~1960년, 1961~1990년, 1991~2020년 등과 같이 고정된 30년간의 누년평균값을 말하며 30년마다 산출한다. 현재 기상청에서는 1991~2020년의 30년 평균값을 평년값으로 사용하고 있다.

이상기후	<ul style="list-style-type: none"> 기온, 강수량 등의 기후요소가 평년(1991~2020년)에 비해 현저히 높거나 낮은 수치를 나타내는 극한 현상으로써, 90% 초과 또는 10% 미만 범위를 적용한다. 															
SRES	<ul style="list-style-type: none"> Special Report on Emission Scenarios, 배출시나리오에 관한 특별보고서 IPCC 3차 평가보고서(2001)에 사용된 미래 배출 시나리오로 예상되는 이산화탄소 배출량에 따라 A1, A2, B1 등 6개의 시나리오가 있다. 															
RCP	<ul style="list-style-type: none"> Representative Concentration Pathways, 대표농도경로 IPCC 제5차 평가보고서(2013)에서는 인간 활동이 대기에 미치는 복사량으로 온실가스 농도를 정하였다. 하나의 대표적인 복사강제력에 대해 사회·경제 시나리오는 여러 가지가 될 수 있다는 의미에서 '대표(Representative)'라는 표현을 사용하며, 온실가스 배출 시나리오의 시간에 따른 변화를 강조하기 위해 '경로(Pathways)'라는 의미를 포함하고 있다. RCP 시나리오는 총 4종(RCP 8.5/6.0/4.5/2.6)으로 나뉘며 시나리오의 숫자는 복사강제력, 즉 온실가스 등으로 에너지의 평형을 변화시키는 영향력의 정도(온실가스로 인한 추가적인 지구흡수에너지양)를 의미한다. RCP 8.5/6.0/4.5/2.6의 복사강제력은 입사 태양복사량의 약 3.6%, 2.5%, 1.9%, 1.1%에 해당한다. <table border="1" style="width: 100%; text-align: center;"> <thead> <tr> <th>종류</th> <th>시나리오 설명</th> <th>2100년 기준 CO₂ 농도(ppm)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>RCP2.6</td> <td>지금부터 즉시 온실가스 감축 수행</td> <td>420</td> </tr> <tr> <td>RCP4.5</td> <td>온실가스 감축 정책이 상당히 실현되는 경우</td> <td>540</td> </tr> <tr> <td>RCP6.0</td> <td>온실가스 감축 정책이 어느 정도 실현되는 경우</td> <td>670</td> </tr> <tr> <td>RCP8.5</td> <td>현재 추세(저감없이)로 온실가스가 배출되는 경우</td> <td>940</td> </tr> </tbody> </table> <p style="text-align: center;">〈RCP 시나리오별 설명 및 2100년 기준 CO₂ 농도〉</p>	종류	시나리오 설명	2100년 기준 CO ₂ 농도(ppm)	RCP2.6	지금부터 즉시 온실가스 감축 수행	420	RCP4.5	온실가스 감축 정책이 상당히 실현되는 경우	540	RCP6.0	온실가스 감축 정책이 어느 정도 실현되는 경우	670	RCP8.5	현재 추세(저감없이)로 온실가스가 배출되는 경우	940
종류	시나리오 설명	2100년 기준 CO ₂ 농도(ppm)														
RCP2.6	지금부터 즉시 온실가스 감축 수행	420														
RCP4.5	온실가스 감축 정책이 상당히 실현되는 경우	540														
RCP6.0	온실가스 감축 정책이 어느 정도 실현되는 경우	670														
RCP8.5	현재 추세(저감없이)로 온실가스가 배출되는 경우	940														
SSP	<ul style="list-style-type: none"> Shared Socioeconomic Pathways, 공통사회경제경로 IPCC 제6차 평가보고서(2021)에서 채택한 온실가스 경로 시나리오로 온실가스 감축 수준 및 기후변화 적응대책 수행 여부 등에 따라 미래 사회경제 구조가 어떻게 달라질 것인지 고려한 시나리오이다. 2100년 기준 복사강제력 강도(기존 RCP 개념)와 함께 미래 사회경제변화를 기준으로 기후변화에 대한 미래의 완화와 적응 노력에 따라 5개의 시나리오로 구별(O'Neil et al. 2014)되며 인구통계, 경제발전, 복지, 생태계 요소, 자원, 제도, 기술발전, 사회적 인자, 정책을 고려한다. 															
극한기후지수	<ul style="list-style-type: none"> 극한기후는 폭염, 한파, 홍수 등 사회에 심각한 영향을 미친다. 극한기후지수는 극한기후를 정량적으로 파악하기 위해 세계기상기구(WMO) 기준을 반영한 지수로서 열대야일수, 폭염일수, 호우일수 등이 있다. 															
기후변화 응용정보	<ul style="list-style-type: none"> 기후변화 시나리오 기반의 부문별(농업, 방재, 보건, 수자원, 산림, 동물생태) 기후변화 영향 및 취약성 평가 등에 손쉽게 활용할 수 있는 맞춤형 미래 전망정보이다. 															
유효적산온도	<ul style="list-style-type: none"> 작물의 생육에 필요한 열량을 나타내기 위한 것으로 일평균기온에서 생육한계온도(5℃, 10℃, 15℃ 기준)를 뺀 값을 합한 것이다. 															
생육온도일수	<ul style="list-style-type: none"> 작물별 기본온도와 일평균온도의 차를 생육기간 동안 합한 값(작물의 재배적지 및 품종 선택 지표)이다. 															
열지수	<ul style="list-style-type: none"> 건구온도와 상대습도를 이용하여, 일사병, 열경련 등 열적 스트레스의 위험도를 나타낸 지수(6~9월)이다. 															
최저기온지수	<ul style="list-style-type: none"> 최한월 평균 최저기온을 이용하여 식생의 내한성(Cold resistance)을 표현하는 지표이다. Neilson(1995)에 따르면 최한월 평균 최저기온은 산림의 생육과 분포, 성장 등과 매우 밀접한 연관이 있는 것으로 밝혀졌다. 예를 들어, 최한월 평균 최저기온이 18℃ 이상인 경우 상록활엽수가 존재할 가능성이 높고, -15℃ 이하인 경우 상록침엽수가 존재할 가능성이 높다. 월 평균 최저기온이 약 1.5℃인 곳에서는 낙엽활엽수가 존재할 가능성이 높다. 															
유효강우지수	<ul style="list-style-type: none"> 강수량과 기온의 혼합지수로 Thornthwaite(1948)에 의해 개발되었다. 월 강수증발산비율(PE ratio)로부터 도출된 유효강우지수는 식물의 성장과 분포 등과 관계가 있는 것으로 보고되었다. 수량에 의한 분포 변화의 측면에서 전 세계적으로 활용되고 있는 대표적인 산림 지수에 해당한다. 															



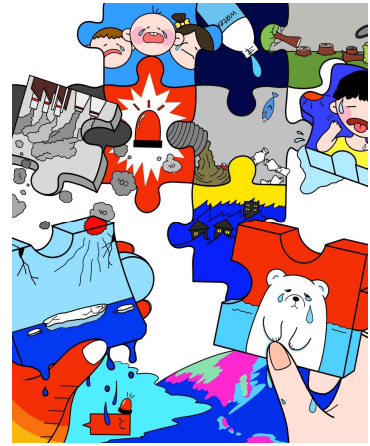
대상

- 현재에 비친 미래 -



최우수상

- 가족사진 -

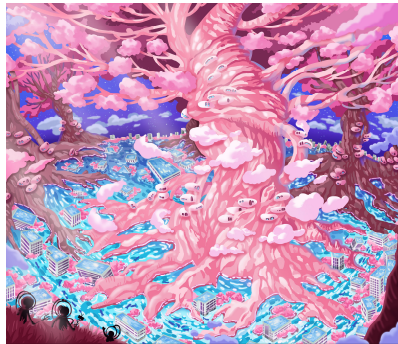


장려상

- 우리 손으로 만들어낸 지구 위기의 조각들
이제는 우리 손으로 바로잡을 때입니다 -

장려상

- 지구의 방주 1.5도 -



참가상

- 새로운 미래 -



참가상

- 지식과 진리 -



참가상

- 시간은 계속 흐를 것입니다 -



참가상

- 유리구슬처럼 지구를 소중히 다뤄주세요 -

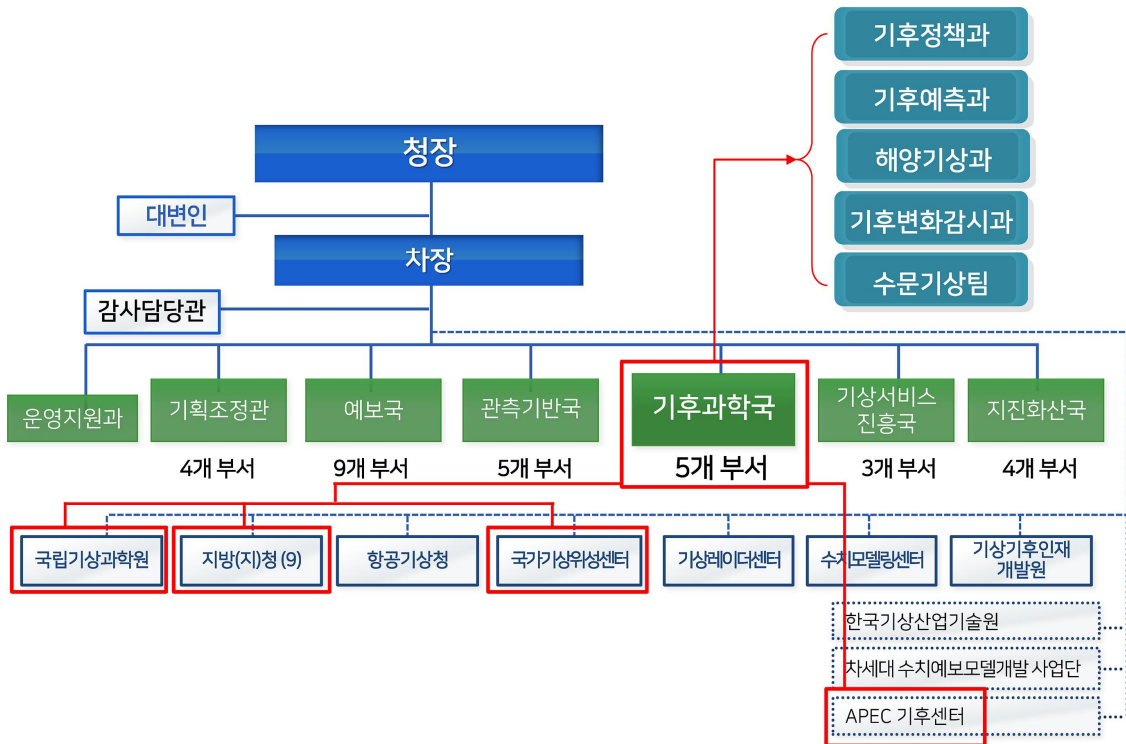


참가상

- 내가 책임질 지구, 지금 -

5 기상청 기후·기후변화 업무 소개

가. 기후·기후변화 업무 조직 현황



1985년 본청 기후국을 신설하여 기후·기후변화 관련 업무를 수행하였으며, 2008년 기후과학국으로 명칭을 변경하여 현재, 본청 기후과학국과 9개 지방(지)청, 국립기상과학원, 국가기상위성센터, APEC기후센터(산하 기관)에서 관련 업무를 수행하고 있다.

나. 기본 목표 및 추진전략

기후변화 대응을 위해 수립된 국가 정책의 각 전략들을 체계적으로 이행하기 위해 향후 5년간 우리나라 기후업무의 발전 목표와 정책방향을 설정하고 이를 달성하기 위한 전략별 과제를 제시하는 제4차 기후업무 발전 기본계획을 수립하였다('23~'27년).

기본 목표 및 중점 추진 전략으로는 ① 탄소중립 이행을 위한 기후·기후변화 감시정보 생산 및 활용 확대, ② 미래 수요에 부합하는 선진 기후·기후변화 정보 서비스, ③ 과학적 의사결정 지원을 위한 기후·기후변화 감시 및 예측 기술개발, ④ 기후 거버넌스 주도 및 기후문해력 확산, ⑤ 기후위기 대응 지원 기반 강화 및 탄소중립 정책 지원 확대 등을 통해 미래 다양한 수요에 대응하는 기후변화 정보의 활용가치를 창출하고 나아가 기후위기로 부터 안전한 사회를 선도하는 선진 기후 서비스를 실현하고자 한다.

출처 및 참고문헌

기상청, 2022년 기상연감

기상청, 2023, 2022 지구대기감시 보고서

IPCC, 2021: Climate Change 2021: The Physical science basis. Working Group I Contribution to the IPCC sixth Assessment Report.

기상청, 2023, 장기예보 업무편람

기상청, 2023, 이상기후 보고서

기상청, 2013, 손에 잡히는 예보기술

기상학백과

기상청, 2021, 우리나라 109년(1912-2020년) 기후변화 분석 보고서

Thompson, D. W. J. and J. M. Wallace, 1998: The Arctic oscillation signature in the wintertime geopotential height and temperature fields. *Geophys. Res. Lett.*, 25(9), 1297-1300, doi:10.1029/98GL00950.

Madden R. and P. Julian, 1971: Detection of a 40-50 day oscillation in the zonal wind in the tropical Pacific. *J. Atmos. Sci.*, 28, 702-708, doi: 10.1175/1520-0469(1971)028<0702:DOADOI>2.0.CO;2.

Madden R. and P. Julian, 1972: Description of global-scale circulation cells in the tropics with a 40-50 day period. *J. Atmos. Sci.*, 29, 1109-1123, doi: 10.1175/1520-0469(1972)029<1109:DOGSCC>2.0.CO;2.

Madden R. and P. Julian, 1994: Observation of the 40-50day tropical oscillation: A review. *Mon. Wea. Rev.*, 112, 814-837, doi: 10.1175/1520-0493(1994)122<0814:OOTDIO>2.0.CO;2.

Zhang, C., 2005: Madden-Julian Oscillation. *Reviews of Geophysics*, 43, 1-36, doi: 10.1029/2004RG000158.

기상청, 2021, 해양기후 분석 보고서

기상청, 2022, 장마백서

기상청, 2019, 지구온난화 1.5°C 정책결정자를 위한 요약본 기술요약서

O'Neill et al., 2014; A new scenario framework for climate change research: the concept of shared socioeconomic pathways, 391-398

국립기상과학원, 2020, 전지구 기후변화 전망보고서 개정판

기상청, 2021, 우리나라의 기후변화 영향

기상청, 2021, 우리나라 기후변화 영향조사

국립기상과학원, 2021, 한반도 기후변화 전망보고서 개정판

국립기상과학원, 2022, 남한상세 기후변화 전망보고서 개정판

기상청, 2022, 지역 기후변화 전망보고서

기상청, 2022, 기후변화 시나리오 활용사례집

기상청, 기후정보포털 > 기후변화 시나리오, 기후변화 영향정보

기상청, 2022, 한반도 주변해역의 기후변화_SSP 시나리오에서 나타난 미래

IPCC 홈페이지(ipcc.ch.)

UNFCCC 홈페이지(unfccc.int)

IPCC, 2021: Summary for Policymakers. In: Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S.L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M.I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T.K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu, and B. Zhou (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 3–32, doi:10.1017/9781009157896.001

IPCC, 2022: Summary for Policymakers. In: Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [P.R. Shukla, J. Skea, R. Slade, A. Al Khourdajie, R. van Diemen, D. McCollum, M. Pathak, S. Some, P. Vyas, R. Fradera, M. Belkacemi, A. Hasiija, G. Lisboa, S. Luz, J. Malley, (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA. doi: 10.1017/9781009157926.001.

IPCC, 2023: Summary for Policymakers. In: Climate Change 2023: Synthesis Report. A Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, H. Lee and J. Romero (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 36 pages. (in press)

기상청, 2020, 지구온난화 1.5℃ 특별보고서 해설서

기상청, 2022, 「기후변화 2021 과학적 근거」 정책결정자를 위한 요약본 해설서

기상청, 2023, 「기후변화 2022 기후변화의 완화」 정책결정자를 위한 요약본 해설서

탄소중립을 위한 기후변화과학의 이해

발행 2023년 7월

발행처 기상청 기후변화감시과

주소 35208 대전광역시 서구 청사로 189 1동 12층

I. 기후변화 관측

기후정책과, 국립기상과학원 기후연구부, 국가기상위성센터 위성기획과

II. 기후·기후변화 분석

기후변화감시과, 해양기상과

III. 기후·기후변화 예측

기후예측과, 해양기상과, 기후변화감시과, 수문기상팀

IV. 기후변화과학 이해확산

기후변화감시과

V. 기후변화 국제협력

기후정책과

누리집 www.climate.go.kr(기후정보포털)

발 간 등 록 번 호

11-1360000-001795-01



탄소중립을 위한 기후변화과학의 이해

