

METEOROLOGICAL TECHNOLOGY & POLICY

기
상
기
술
정
책

기상기술정책

METEOROLOGICAL TECHNOLOGY & POLICY

2
0
2
2
·
6

2022.

6

특집 기상특보의 사회경제적 효과

칼럼 | 기상재해 리스크 경감을 위한 기상청의 도전 |

정책초점 | 폭염특보 현황 및 선진화 |

| 폭염과 건강영향, 그리고 대응정책 |

| 폭염(열파)이 국민 건강에 미치는 영향을 고려한 폭염특보 개선 방향 제언 |

| 호우특보와 재난관리 |

| 도시 기후변화 재해취약성분석 제도의 이해와 기상분야 과제 |

논단 | 변화하는 기후에 달라지는 태풍: 시사점과 대응방안 |

포커스 | 자연재난에 안전한 지자체 구축을 위한 기상특보의 활용 |

Volume 15, Number 1

33, Seohobuk-ro, Seogwipo-si, Jeju-do, 63568, Korea

TEL. 064-780-6545 | FAX. 064-738-6513

<http://www.kma.go.kr>

기
상
청



『기상기술정책』

Vol.15, No.1(통권 제34호)

2022년 6월 30일 발행

등록번호 : 11-1360620-000097-09

ISSN 2092-5336

『기상기술정책』지는 범정부적인 기상·기후 분야의 정책 수요에 적극적으로 부응하고, 창의적인 기상기술 혁신을 위한 전문적인 연구 조사를 통해 기상·기후업무 관련 분야의 발전에 기여할 목적으로 발간 기획되었습니다.

본 『기상기술정책』지는 기상·기후 분야의 주요 정책적 이슈나 현안에 대하여 집중적으로 논의하고, 이와 관련된 해외 정책동향과 연구 자료를 신속하고 체계적으로 수집하여 제공함으로써 기상 정책입안과 연구개발 전략 수립에 기여하고자 정기적으로 발행되고 있습니다.

본지에 실린 내용은 집필자 자신의 개인 의견이며, 기상청의 공식의견이 아님을 밝힙니다. 본지에 게재된 내용은 출처와 저자를 밝히는 한 부분적으로 발췌 또는 인용될 수 있습니다.

원고모집

『기상기술정책』에서는 기상과 기후분야의 정책이나 기술 혁신과 관련된 원고를 모집하고 있습니다. 뜻있는 분들의 많은 참여를 부탁드립니다. 편집위원회의 심사를 통하여 채택된 원고에 대해서는 소정의 원고료를 지급하고 있습니다.

▶ 원고매수: A4 용지 10매 내외

▶ 원고마감: 수시접수

▶ 보내실 곳 및 문의사항은 발행처를 참고 바랍니다.

☞ 더 자세한 투고방법은 맨 뒷편의 투고요령을 참고바랍니다.

『기상기술정책』편집위원회

발행인: 유희동

편집기획: 국립기상과학원(책임운영기관) 연구기획과

편집위원장: 김성균

편집위원: 정관영, 신동현, 이은정, 임하권,

박록진, 반기성, 홍진규, 김도우

편집간사: 이용갑, 이대근, 김인겸

발행처

주소: (63568) 제주특별자치도 서귀포시 서호북로 33

국립기상과학원(책임운영기관)

전화: 064-780-6545 팩스: 064-738-6513

E-mail: dglee7@korea.kr

CONTENTS

특집: 기상특보의 사회경제적 효과

칼럼 03 _ 기상재해 리스크 경감을 위한 기상청의 도전 / 유희동

정책초점 06 _ 폭염특보 현황 및 선진화 / 이명인

21 _ 폭염과 건강영향 그리고 대응정책 / 홍윤철

30 _ 폭염(열파)이 국민 건강에 미치는 영향을 고려한 폭염특보 개선
방향 제언 / 최광용

42 _ 호우특보와 재난관리 / 조재웅

55 _ 도시 기후변화 재해취약성분석 제도의 이해와 과제 / 권용석

논단 63 _ 변화하는 기후에 달라지는 태풍: 시사점과 대응방안 / 문일주

포커스 74 _ 자연재난에 안전한 지자체 구축을 위한 기상특보의 활용 / 허종배

기상재해 리스크 경감을 위한 기상청의 도전



유희동
기상청장

“패스트페이스, 현 시간부 패스트페이스...”

군 생활을 해본 사람이라면 새벽잠을 깨우는 나팔 소리 대신 스피커 속 당직 사령의 찌렁찌렁한 훈련개시 목소리를 기억하는 사람들도 있을 것이다. 패스트페이스는 전쟁 준비단계와 관련된 용어로 「전투준비태세」 혹은 「데프콘(DEFCON)」 2단계를 뜻한다. 패스트페이스 발령과 동시에 부대원들은 보직에 정위치하여 전쟁 발발 상황에 대비한 준비를 마친다.

중앙정부 부처 중 유일하게 매일 성적표를 받아드는 유일한 기관인 기상청에도 패스트페이스와 같은 준비 태세 알림이 있다. 바로 「특보」이다. 기상청의 특보는 각종 기상현상으로 인한 재해 발생의 우려가 있을 때 이를 대비할 목적으로 발표되는 예보체계를 말한다. 예상되는 재해 수준에 따라 주의보, 경보로 구분되며, 폭염/한파, 태풍, 호우, 대설 등 10개 현상에 대해 각각의 기준에 따라 발표되고 있다. 기상청이 발표하는 특보가 시발점이 되어 대한민국의 국가재난안전시스템이 작동하게 된다. 실제 전사가 아닌 상황에서 국가 전체의 비상 대응체계에 영향을 줄 수 있는 막강한 영향력을 가진 특보를 생산하는 주무부처인 기상청은 그 엄중함에 늘 긴장하고 특보발표에 신중할 수 밖에 없다.

근래 들어 특히 주목해야 할 현상은 폭염이다. 폭염은 「소리없는 살인자」로 불리울 정도로 우리가 자연재난 하면 떠오르는 집중호우, 태풍보다도 더 많은 사망자를

발생시킨다. 우리나라에서 가장 폭염이 심했던 2018년도에는 48명이 폭염으로 직접 사망했고 매년 30여명의 인명 피해를 내는 대표적인 재해성 기상현상이다.

따라서 예상되는 피해에 효과적으로 대응하고, 수요자에게 적절하게 활용되기 위한 기상청의 특보 개선 노력은 지속적으로 필요하다. 폭염의 경우 인구 통계/소득수준/건축환경 등 지역별 취약성을 반영한 등급제, 사람들이 기억하기 쉽도록 태풍과 같은 이름을 부여하는 명명제, 질병관리본부의 온열질환 감시체계와 연동할 수 있는 건강정보시스템 등을 논의해 볼 수 있다. 또, 특보 단계의 세분화 제공, 초과사망 원인분석 등 다학문 접근, 동아시아 폭염 발생 원인 분석 등에 대한 논의도 필요해 보인다.

태풍 상황을 포함하는 호우의 경우 전국에 동일한 기준을 적용하는 현 방식에서 탈피하여 지역별/재난유형별 세분화된 자연재해 대응 특보기준 설정 및 영향예보 기술의 조속한 도입, 다부처 협업을 통한 정보 공유 확대·지속을 검토해 볼 수 있다. 이와 같은 기상청의 특보 개선 노력은 중요성이 날로 커지고 있는 대도시 지역의 재해 취약성 분석의 정확도를 높이고, 이는 도시계획 관점에서의 피해 예방에도 기여할 수 있을 것이다.

미국 기상청 스톱경보시스템은 2017년 17개 허리케인의 미국 상륙에도 사망 사고를 예방하는데 크게 기여했고, 영국 폭염경보시스템은 투자 대비 약 2,000배의 편익으로 평가되는 등 다수 사례에서 기상특보의 사회경제적 효과가 입증되었다. 우리나라에서도 2020년 기준으로 특보 대상이 되는 호우, 태풍, 풍랑/강풍, 한파로 인한 재산피해가 약 1조 3천억 원에 달하는 것으로 보고됐다. 다가온 기후 위기의 시대에 정확하고 효율적인 정보 생산, 신속하고 효과적인 전달체계 마련을 통해 많은 국민의 생명과 재산을 지킬 수 있는 특보 서비스에 대한 각별한 관심과 지원 강화가 요구되는 때이다.

정책 초점

폭염특보 현황 및 선진화

| 이명인

폭염과 건강영향 그리고 대응정책

| 홍윤철

폭염(열파)이 국민 건강에 미치는 영향을 고려한 폭염특보 개선 방향 제언

| 최광용

호우특보와 재난관리

| 조재웅

도시 기후변화 재해취약성분석 제도의 이해와 과제

| 권용석

폭염특보 현황 및 선진화

이명인 폭염특이기상연구센터 센터장 milee@unist.ac.kr

- I. 우리나라 및 해외 폭염특보 현황
- II. 폭염특보의 사회경제 가치
- III. 해외 폭염특보 선진화 노력
- IV. 결론 및 요약

우리나라는 2022년부터 시행되는 「중대재해처벌법」으로 폭염으로 인한 사업장 안전이나 시민 안전 등이 그 어느 때 보다 중요해졌다. 특히 2018년도 기준, 폭염으로 인한 직접적인 경제적 손실은 온열질환자 요양급여 비용 약 39억 원, 사망자 지급 금액 약 410억 원, 업무 효율 저하로 약 3,500억 원에 이르러 수자원 및 농업 등 간접적인 영향을 고려할 시 피해 액수는 더욱 증가할 수 있다. 폭염 피해 예방에 필수적인 폭염특보 개선을 위해 폭염에 대한 현재의 주의보/경보 등급 체계뿐만 아니라 명명에 대한 논의를 통해 미디어에서 폭염에 대해 더 쉽게 알리고, 폭염 경고에 관한 관심을 높이며, 지역 사회의 대비를 높이는 방안 등을 생각해 볼 수 있다. 본 고에서는 우리나라와 외국의 폭염특보 현황과 폭염으로 인한 손실을 살펴보고, 특보 체계 개선을 위한 실질적 제언을 하고자 한다. ■

“ 기상청은 2008년
6월 폭염특보제를
시작 ”

1. 우리나라 및 해외 폭염특보 현황

1. 우리나라 폭염특보 현황

기상특보란 기상재해가 발생할 것으로 예상될 때 국민들에게 미리 경고하기 위해 발표하며, 재해가 예상되는 수준에는 주의보를, 피해가 심각할 것으로 예상되면 경보를 발령한다. 우리나라의 폭염특보는 기존에는 최고기온을 기준으로 발령하다가 최근 최고체감온도(2020년 5월부터 시범운영 중)를 사용하여 주의보와 경보 2단계로 나누어 발표하고 있다. ‘폭염주의보’는 일최고체감온도 33℃ 이상인 상태가 2일 이상 지속될 것으로 예상될 때 또는 급격한 체감온도 상승 또는 폭염 장기화 등으로 중대한 피해 발생이 예상될 때, ‘폭염경보’는 일최고체감온도 35℃ 이상인 상태가 2일 이상 지속될 것으로 예상될 때 또는 급격한 체감온도 상승 또는 폭염 장기화 등으로 광범위한 지역에서 중대한 피해 발생이 예상될 경우 발표된다(표 1).

〈표 1〉 국내 폭염 특보 기준

특보	발령 기준
폭염 주의보	· 일최고체감온도 33℃ 이상인 상태가 2일 이상 지속될 것으로 예상 될때 · 급격한 체감온도 상승 또는 폭염 장기화 등으로 중대한 피해 발생이 예상 될때
폭염 경보	· 일최고체감온도 35℃ 이상인 상태가 2일이상 지속될 것으로 예상 될때· 급격한 체감온도 상승 또는 폭염 장기화 등으로 광범위한 지역에서 중대한 피해 발생이 예상 될때

기상청이 폭염특보제를 시작한 2008년 6월에는 6-9월까지 한시적으로 운영하였으나, 폭염 발생이 최근 증가하면서 2015년부터는 계절에 관계없이 연중으로 확대하여 운영하고 있으며, 폭염 발생이 예상되는 시·군별 대상구역/발표시각/발효시각 등을 발표한다. 일최고체감온도는 기온에 습도, 바람 등의 영향이 더해져서 사람이 느끼는 더위나 추위를 나타낸 온도이다. 기상청은 특보 발령을 위해서 기온값에 습도가 10% 증가할 때마다 체감온도가 1℃ 가량 증가하는 방식을 사용하고 있다. 현재 국내 폭염특보 발표의 선행시간은 대개 24시간 이내로 발표 당일과 다음날의 폭염 발생 가능성을 예측한다.

특보 발효는 노약자 및 온열질환자 등의 국민 건강 보호 및 야외 노동자 활동, 산업 경제활동 등 광범위한 분야에서의 체계적인 대비를 도모하여 피해를 줄이는 목

“ 「중대재해처벌법」
시행으로
폭염으로 인한
기업과
시민 안전이
중요해짐 ”

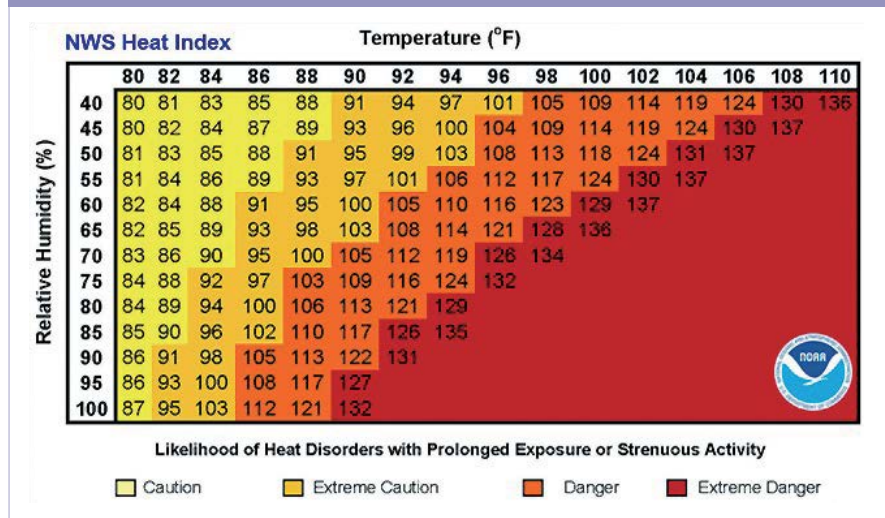
적을 가지고 있다. 2018년 한반도에서 발생한 대폭염 사례에 따라 폭염은 재난 및 안전관리 기본법 상에서 정한 법정 자연재난이 되었으며, 2020년에는 자연재해 대책법 상 폭염 대책 수립의 근거를 마련하여 인명피해를 최소화하기 위한 제도를 마련하였다. 또한, 2022년부터 시행되는 「중대재해처벌법」으로 폭염으로 인한 사업장 안전이나 시민 안전 등이 그 어느 때 보다 중요해졌다.

2. 국외 폭염특보 현황

다음은 주요 국가별로 폭염특보에 사용되는 지표, 선행시간, 특보 단계, 제공되는 정보 등을 정리하였다.

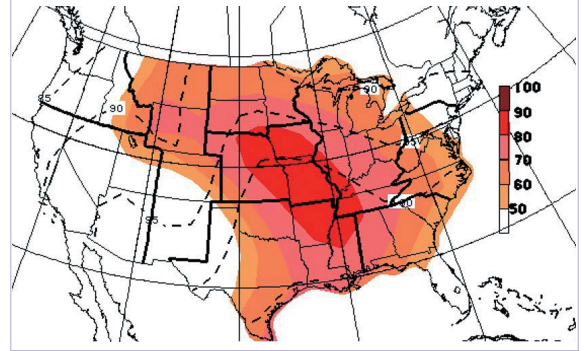
미국 기상청(National Weather Service)은 열지수(Heat Index) 기반의 폭염 특보 체계를 미국 본토 전 지역에 대해 운영 중이며, 선행시간과 강도에 따라 4단계로 특보를 발령한다. 3~7일 전부터 열지수 예보를 결정예보와 함께 확률예보의 형태로 제공한다. 폭염 대비가 필요한 사람들에게 폭염 전망(Excessive Heat Outlooks)을 통하여 조기에 예보를 제공하며, 선행시간이 가까워질수록 3일 이내의 범위에 폭염 수준의 고온 발생 가능성이 높을 때 폭염 경계(Excessive Heat

[그림 1] 미국 기상청에서 사용하는 열지수(Heat Index) 표. 열지수 기준에 따라 4단계(Caution, Extreme Caution, Danger, Extreme Danger)로 위험도를 분류

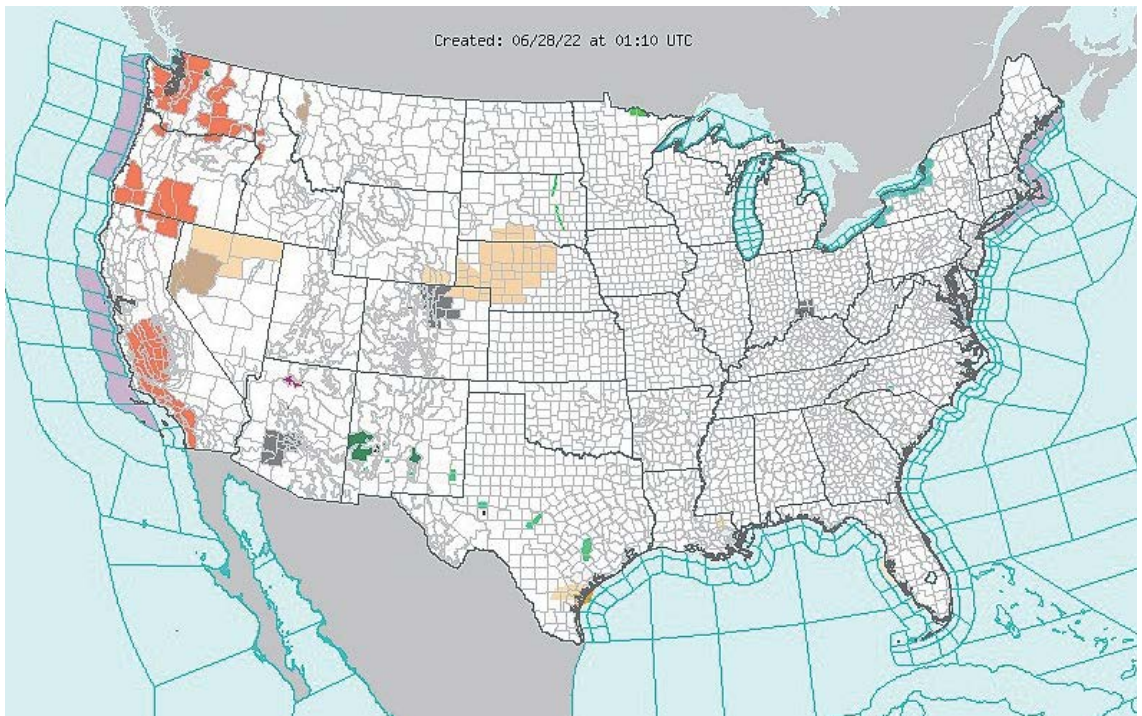


Watches) 특보를 발령한다. 12시간 이내 및 실황에서 고온 발생 가능성이 높고 매우 위험한 열환경이 만들어질 때 단계별로 폭염 주의보(Excessive Heat Advisory) 및 폭염 경보(Excessive Heat Warning)를 발표한다. 미국 기상청 폭염특보 체계는 4단계로서 국내 폭염특보 시스템에 비해 단계가 많아 보이지만, 실황기반에서는 2단계(Heat Advisory, Heat Warning)로서 국내 폭염 주의보 및 경보 체계와 비슷하며, 선행시간 1주일 전부터 열지수 예보에 따라 폭염 발생을 주시하고 있다[그림 1~3].

[그림 2] 미국 기상청 6~10일 열지수 확률예보 형태의 폭염 전망 예시(Heat Index가 평년보다 높을 확률을 제공)

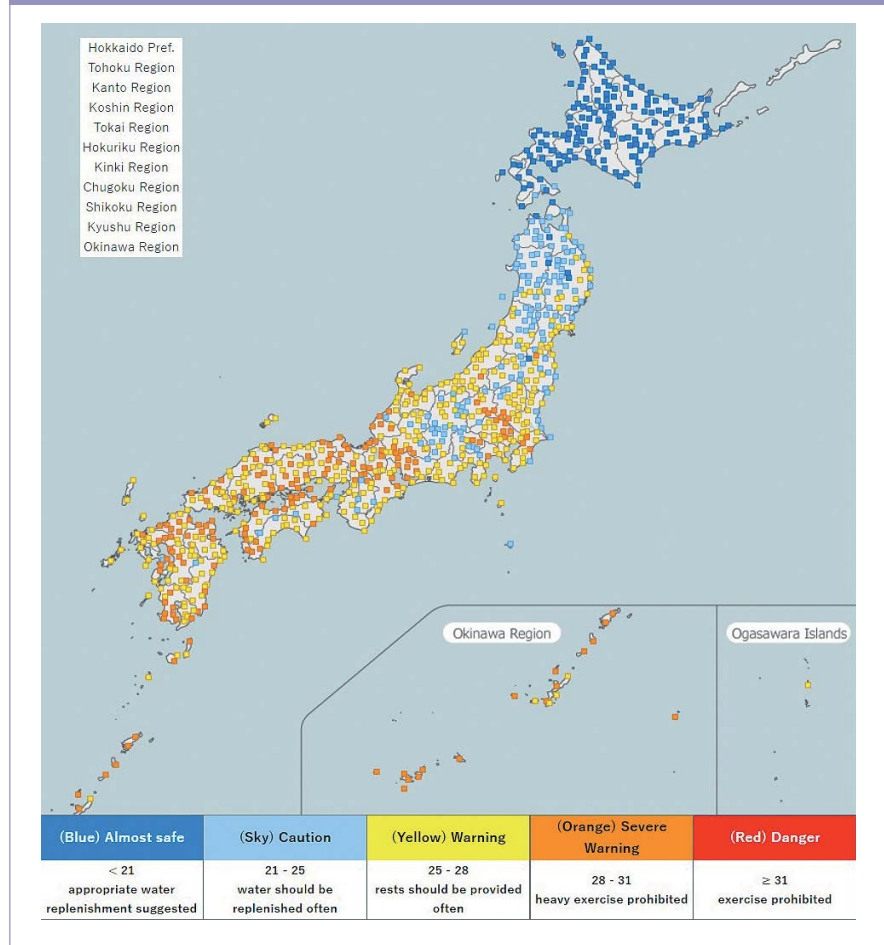


[그림 3] 미국 기상청 특보 표출 시스템. 폭염뿐만 아니라 산불, 홍수 등의 자연재해를 통합하여 특보를 제공하며, 세부 지역으로 나누어 색별로 표출. 그림의 경우 서부지역에 폭염주의보(Heat Advisory)가 발령됨.



“ 일본 기상청은
2일 이내
습구흑구온도를
기준으로 5단계의
특보를 발령 ”

[그림 4] 일본 기상청의 습구흑구온도(WBGT) 기반 폭염 5단계 특보 예시. 각 기준 WBGT에 따라 파랑~빨강색을 도시 지역별로 나타냄. 해당 지역을 선택하면 세부적인 도시 내부 지역 별 단계 특보 제공. 그림의 경우 일본 서남부지역이 위험지수가 높음



일본기상청(Japan Meteorological Administration)은 선행시간 2주 전부터는 각 지역별 최고기온과 최저기온 예보를 바탕으로 고온주의경보(최고기온 35°C 이상)를 발령하며, 2일 이내에서는 기온과 습도를 포함한 습구흑구온도(WBGT; Wet-Bulb Globe Temperature, 더위체감지수라고도 불리며 습도에 영향을 받는 인체의 발한 기작과 복사열을 고려한 지수)를 기준으로 5단계의 특보(안전, 조심, 주의, 매우 주의, 위험)를 발령한다. 특보가 발령되면 야외 활동을 중지하고, 수분섭취를 권장하는 등의 주요 가이드라인을 권장하고 있다[그림 4].

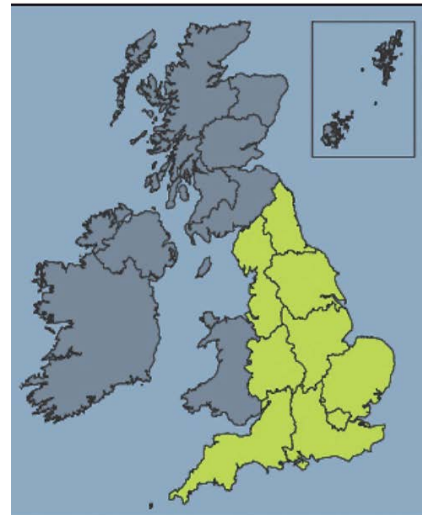
“ 영국 기상청은 지역별 차등적인 임계값이 적용된 특보를 발령 ”

영국 기상청(Met Office)의 열-보건 감시(Heat-Health Watch) 서비스는 지역별 지형과 기후를 고려하여 지역에 따라 차등적인 일최고/최저기온 임계값이 적용된 특보를 발령한다. 단계는 0-4단계까지 총 5단계로 구성되어 있다. 선행시간 3일부터 폭염이 일어날 것으로 예상되는 경우 2단계 특보를 발령하며, 이후 실황 기반으로 3단계와 4단계 특보를 발령하고 사회경제적 폭염 대비 시스템을 가동한다 [그림 5].

중국 기상청(China Meteorological Administration)은 최고기온 기반의 3단계(노랑, 주황, 빨강) 폭염특보를 발표하고 있으며, 우리나라와 비슷하게 실황 기반으로 최고기온이 임계값을 넘어가는 날이 2일 연속 지속되는 경우 폭염특보를 발령한다. 지점별 특보 현황을 단계별로 그래픽으로 표출하며, 특보가 발령되는 경우 야외활동 및 취약계층에 대한 정부와 관련 부처의 대응을 주요 가이드라인으로 사용한다[그림 6].

[그림 5] 영국 기상청의 열-보건 특보 체계. 다른 임계값을 사용하여 Level 0-4 단계로 구분된 특보 제공. 그림의 경우 Level 1 Summer Preparedness상태 특보를 나타냄

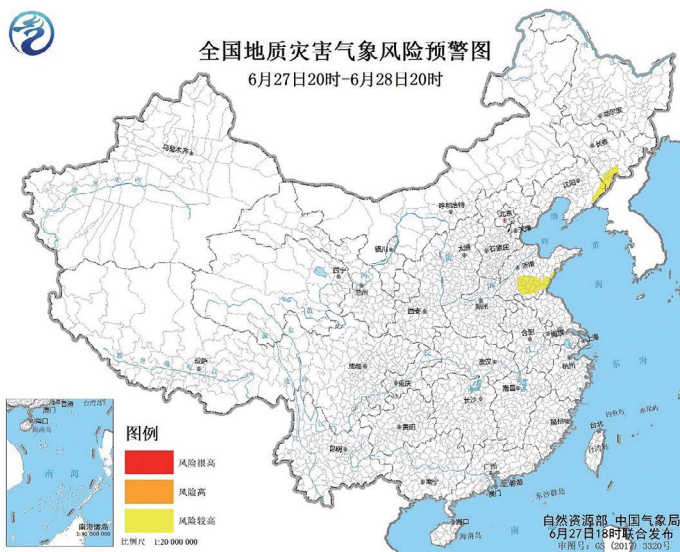
Heat-Health Alert



Key:

- Region not included
- Summer preparedness and long-term planning
- Alert and readiness
- Heatwave action
- National Emergency

[그림 6] 중국 기상청의 폭염특보 표출. 일최고기온 기준으로 중국 전 지역에 3단계 특보를 발령



〈표 2〉 국가별 폭염특보 사용 지수 및 기준과 관련된 설명

국가	사용지수 (변수)	선행시간	특보	기준 설명 대응 체계
미국	열지수 (Heat Index)	7일~3일 (예보 기반)	Excessive Heat Outlooks	· 다음 3~7일 동안 폭염이 생길 가능성이 있을 때 발령 · 폭염대비가 필요한 사람들에게 이른 정보 제공 · 열지수(Heat Index) 확률예보, 결정예보 제공
		3일~1일 (예보 기반)	Excessive Heat Watches (Be Prepared)	· 24~72시간 이내에 과도한 열이 발생하기에 좋은 조건이 만들어 질 때 발효 · 폭염에 대한 위험이 증가하지만, 발생과 시기가 아직 불확실할 때 발효
		발생~ 12시간 이내 (실황 기반)	Excessive Heat Advisory (Take Action)	· 열환경이 만들어진 후 12시간 이내에 발효 · 최대 열지수가 100°F가 넘고, 야간기온이 75°F 이하로 떨어지지 않는 날이 2일 이상 지속될 때 발효 · 예방조치 권고
			Excessive Heat Warning (Take Action)	· 매우 위험한 열환경이 만들어진 후 12시간 이내에 발효 · 최대 열지수가 105°F가 넘고, 야간기온이 75°F 이하로 떨어지지 않는 날이 2일 이상 지속될 때 발령 · 극심한 상황에서 즉각적인 예방조치 권고
일본	일 최고기온, 습구흑구온도 (WBGT)	2주 이내 (예보 기반)	고온주의정보 예보	· 각 지역별 일최고기온 & 일최저기온 예보 제공 · 고온주의경보(일 최고기온 35°C 이상)
		2일 이내 (예보 및 실황 기반)	WBGT 5단계 특보	· WBGT 실시간 데이터와 기상예보로부터 당일과 다음날 2일간의 WBGT 예측해 그 값을 제공 · WBGT기반 5단계 특보 발령
중국	일 최고기온	실황 기반	노랑 (일 최고기온이 35°C 이상인 날이 2일 연속)	· 정부 및 관련 부처는 일사병 예방을 위한 준비작업 수행 · 이른 아침 또는 저녁으로 격렬한 활동 일정 변경 · 노인, 취약계층, 어린이에게 일사병 예방에 대한 지침 제공 · 야외에서 작업이나 시간을 보낼 때 예방조치 필요
			주황 (24시간 동안 일최고기온이 37°C 이상일 때)	· 정부 및 관련 부처는 일사병 방지를 위한 지원작업 필요 · 더울 때 야외활동을 피하고, 야외 작업하는 경우 근무시간 단축 필요 · 노인, 취약계층, 어린이에게 필요한 조치 제공 · 관련 부처는 높은 전력소비 및 전기 부하로 인한 화재 방지 필요
			빨강 (24시간 동안 일최고기온이 40°C 이상일 때)	· 정부 및 관련부처는 일사병 예방을 위한 긴급 대응 필요 · 야외 활동 중지 · 노인, 취약계층, 어린이에게 보호조치 제공 · 관련 부처는 특히 화재 예방조치 취해야함
호주	일최고기온	여름 기간	Level 1 〈Summer preparedness and long-term planning〉	· 여름 동안의 초기경계 상태로 폭염대책을 계획하기 위해 지속적인 준비 · 여름 대비와 장기대책 수립
		3일 이내 (예보기반)	Level 2 〈Alert and readiness〉	· 최소 2일 연속 및 야간에 하나 이상의 지역에서 임계값 온도에 도달할 위험이 60% 이상일 때 발령 · 피해를 줄이기 위한 준비 및 신속한 행동, 의료 서비스 준비
		실황 기반	Level 3 〈Heatwave action〉	· 여러 지역에서 임계값 온도를 넘음 · 폭염취약계층에 특별한 대비와 사회적인 관심, 의료 서비스 필요
		실황 기반	Level 4 〈National Emergency〉	· 폭염이 너무 심하거나 연장되어 사회와 건강관리 시스템에 영향을 미칠 때 발령 · 폭염취약계층 뿐만 아니라 전 국민에 의료서비스 제공 필요
호주	고온인(Excess Heat Factor, 일최고/일최저 기온 기반)	3일 이내 (예보 기반)	Low-intensity heatwave	· 대부분의 사람이 견딜 수 있는 수준의 열
			Severe heatwave	· EHF ≥ Severe threshold
			Extreme heatwave	· EHF ≥ Extreme threshold
독일	PT (인지온도)	실황 기반	Severe heat stress	· 2일 연속 인지온도(PT)가 35°C 이상일 때 발효
		실황 기반	Extreme heat stress	· 2일 연속 인지온도(PT)가 38°C 이상일 때 발효

“ 폭염특보의
사회경제적
가치는 폭염으로
인한 광범위한 피해
평가 바탕 ”

〈표 2〉는 국외 주요 국가들의 폭염특보 현황을 비교한 것이다. 대부분 최고기온 및 습도를 포함한 열지수를 사용하고 있으며(미국, 일본, 독일), 예보 기반의 3일 이상 선행시간을 가지고 폭염 발생을 주시한다(미국, 일본, 영국, 호주).

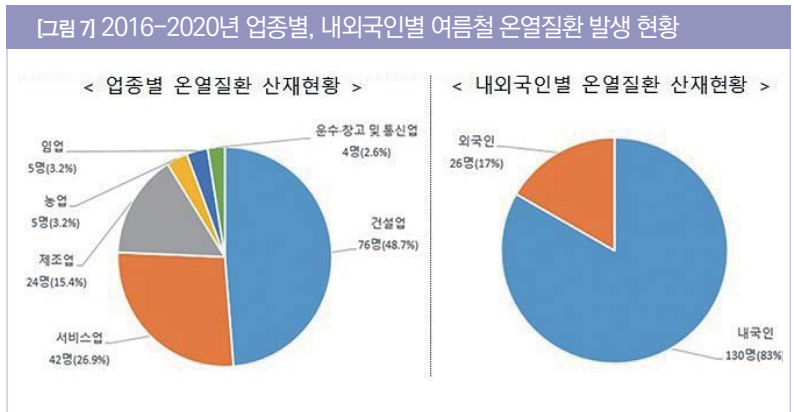
II. 폭염특보의 사회경제 가치

1. 국내

폭염특보의 사회경제적 가치는 폭염으로 인한 광범위한 피해 평가를 바탕으로 한다. 최근 관련 자료의 축적을 통하여 우리나라 폭염 발생에 따른 피해가 보고되고 있다. 사망자를 포함한 온열질환자, 가축 폐사, 수질 악화, 에너지 관련 문제 등이 우리나라에서는 폭염의 주요 피

해로 분석되고 있다. 특히 2018년도 기준, 직접적인 경제적 손실은 온열질환자 요양급여 비용 약 39억 원, 사망자 지급 금액 약 410억 원, 업무 효율 저하로 약 3,500억 원의 피해가 국내에서 발생하였다. 수자원 및 농업 등 간접적인 영향을 고려할 시 피해 액수는 더욱 증가할 것으로 사료된다.

폭염으로 인한 고온은 우리나라에서도 산업재해를 통하여 생산성에 심대한 영향을 미치고 있다. 지난 6년간 국내에서 폭염으로 인한 온열질환 산업재해 피해자는 182명이며, 이 중 약 16%가 사망했다. 특히 야외에서 작업하는 경우가 대다수인 건설업에서 발생한 피해자는 182명 중 약 48%로 전체 업종에서 가장 많은 비중을 차지했다. 대다수의 사고는 폭염특보가 내려진 날 야외 작업 강행으로 인한 피해로 파악되었다[그림 7].



“ 미국은 기온상승
및 폭염으로 연간
천억 달러
경제적 손실이
발생 ”

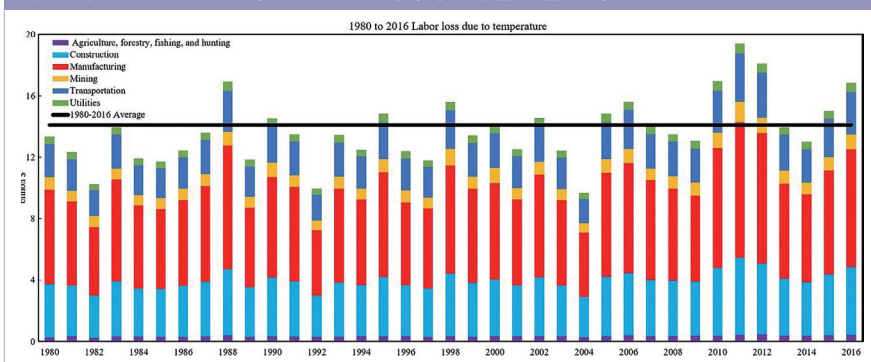
또한, 실내작업이 큰 비중을 차지하는 서비스업에서도 약 27%가량의 온열질환 피해자가 발생하였으며, 이는 온열질환이 야외 작업에만 국한되어 있지 않음을 시사한다. 폭염으로 인한 피해자가 지속적으로 발생하지 않도록, 적합한 작업 환경 마련 등의 주의 및 조치가 필요하며, 또한 폭염으로 인한 산업재해는 경제적 손실과도 직결되기 때문에 정부와 산업계의 높은 주의가 필요하다.

2. 미국

전세계적인 기온 상승 및 폭염의 빈번한 발생으로 근로자들의 업무 수행능력이 저하되며, 미국에서는 폭염으로 인한 경제적 손실을 수천억 달러로 추정하고 있다. 더위로 인한 업무중지, 능률 저하, 인프라 붕괴, 전기요금 증가, 작물 손해 등 경제활동 전반의 직·간접적인 영향들이 존재한다.

미국의 에드리언 아쇿-락펠러재단 리질리언스센터(Adrienne Arsht-Rockefeller Foundation Resilience Center) 보고서에 따르면, 기온상승 및 폭염으로 인해 미국은 연간 천억 달러 규모의 손실을 입고 있다. 추후 매년 폭염 일수가 증가함에 따라, 이 수치는 2030년까지 두 배로 상승하여 GDP의 약 0.5%인 2천억 달러로 예상되며, 2050년에는 손실액이 5천억 달러까지 상승할 것으로 전망된다.

[그림 8] 1980-2016년 폭염으로 인한 미국의 산업별 손실 금액



또한, 1980년부터 2016년까지 폭염으로 인해 매년 평균 4.2억 노동 시간이 손실되었으며, 이는 총 근무시간의 1.2%에 해당된다. 특히, 1992년 3억 시간에서 2011년 약 6억 시간까지 증가하였으며, 이는 폭

염으로 인한 노동시간 손실이 가파르게 증가함을 시사하고 있다.

금액적 피해를 가장 크게 본 산업은 제조업이다[그림 8]. 제조업은 폭염으로 인

한 손실이 1980년 약 60억 달러에서 2016년 80억 달러까지 늘어났다. 야외 노동자들은 건설업과 농업에서 폭염의 영향을 가장 크게 받고 있다. 2016년까지 두 산업은 도합 40억 달러 이상의 손실을 꾸준히 겪고 있으며, 추후 2050년까지 건설업은 생산량의 3.5%인 연간 12억 달러의 손실을 볼 것으로 예상하였다. 농업 또한 노동자들의 능률 저하와, 폭염으로 인한 작물 피해로 연간 1억 3천만 달러의 손실을 볼 것으로 전망된다. 또한, 외식업이나 운송업 등 서비스 부문에서도 28억 달러의 손실이 예상된다. 피해를 최소화하기 위한 세금 투입 또한 무시할 수 없는 경제 적 손실이다.

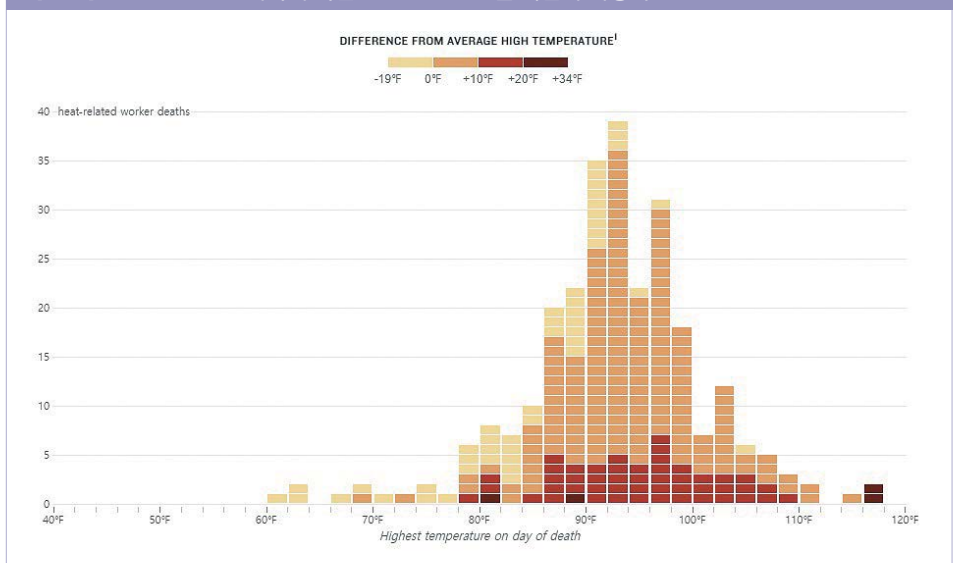
미국 또한 온열질환으로 인한 산업재해는 피할 수 없는 사항이다. 2010-2020년 사이, 384명의 작업자가 폭염으로 인해 사망했다(그림 9). 대다수가 야외 작업자로, 농부, 건설, 목수, 쓰레기 수거 등의 직업군이 해당된다.

미국의 산업안전 보건청은 위와 같은 피해를 최소화하기 위해 근로자를 보호 하기 위한 국가 폭염 표준을 수립하는 시스템의 중요성을 강조하고 있다. 산업 안전보건연구소는 1986년, 2016년 2 차례에 걸쳐 폭염 관련 안전 조치를 수립

및 개선하였고, 산업안전보건청은 연구소의 기준에 따라 2021년부터 폭염 기준을 공식적으로 의제로 올려 폭염 피해를 최소화하고 있다.

“ 미국 산업안전보건청은 근로자 보호를 위한 국가폭염표준 시스템 수립의 중요성 강조 ”

[그림 9] 2010-2020년 미국의 폭염으로 인한 온도별 작업자 사망 수



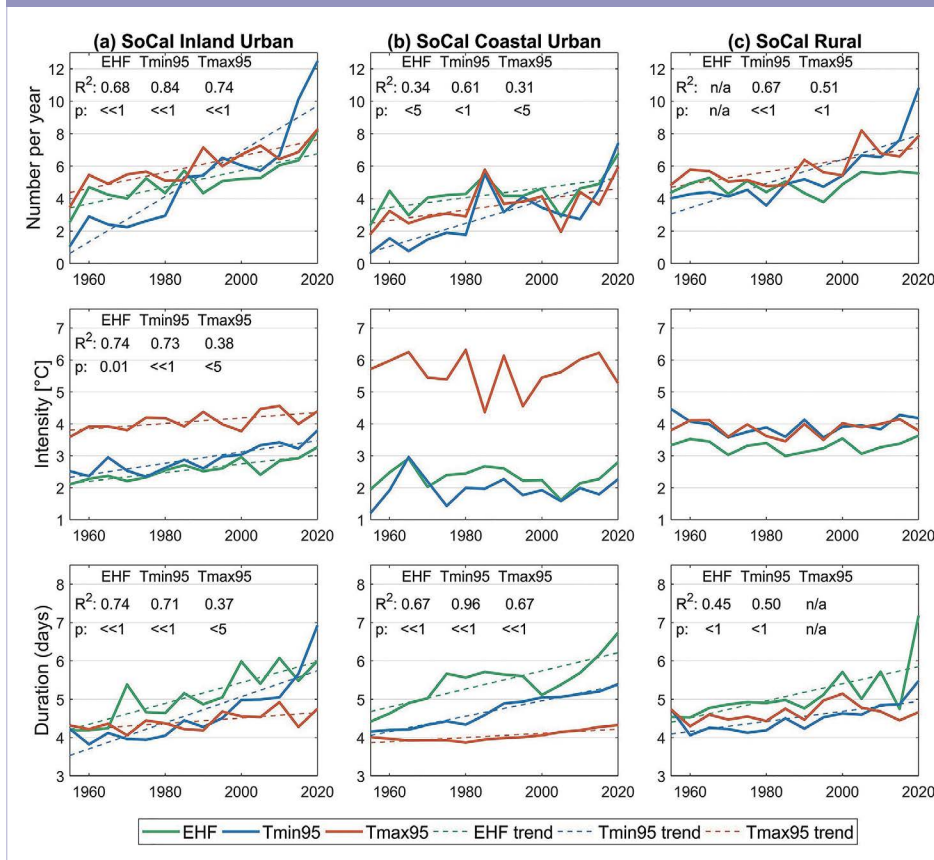
“ 폭염등급시스템은
지역별 환경
데이터를 반영해
폭염을 3등급으로
분류 ”

III. 국외 폭염특보 선진화 노력

1. 폭염의 등급 및 이름 부여

지난 20년 동안 남부 캘리포니아의 폭염 빈도는 3배 가까이 증가했고 로스앤젤레스의 경우 1980-2000년에 연평균 6일이던 폭염 일수가 2050년에는 22일까지 증가할 것으로 예상된다(그림 10). 캘리포니아 보험국에 따르면 2050년까지 폭염 관련 질환자는 10% 이상 증가해 50만 명 이상의 추가 환자가 발생할 것으로 예상하였고 이에 따른 병원 용량 부족과 기업의 수익 손실 위험, 지방 정부의 비용 급증이 우려됐다.

[그림 10] 캘리포니아의 최근 폭염 경향(Hulley et al., 2020)



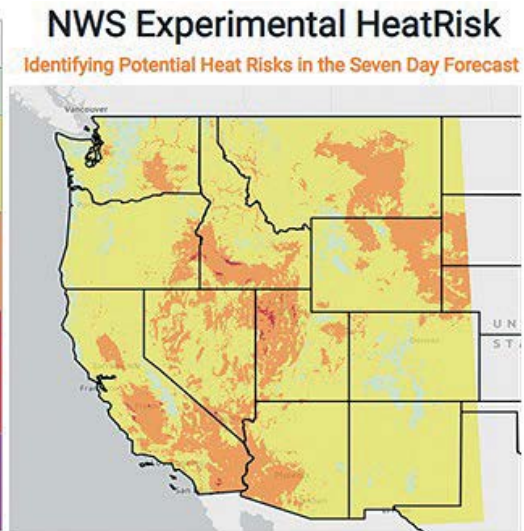
이러한 폭염 위기에 대비해 지난 2월 캘리포니아주는 폭염에 등급을 부여하는 시스템 구축 지원 법안을 통과시켰다. 아섯-락펠러센터와의 협력사업으로 구축될 폭염 등급 시스템은 기온이나 습도와 같은 기상 조건에만 의존하지 않고 인구 통계, 건축 환경, 폭염 지속 시간 등 지역별 데이터를 반영해 폭염 등급을 3

“태풍처럼 폭염에 이름을 부여하는 논의도 진행중”

단계로 분류할 예정이다. 1등급의 경우에는 예상 사망자 수가 상대적으로 낮고 일일 사망률이 0~10% 증가할 것으로 예상하는 폭염인 반면 3등급의 경우엔 작년 6월에 발생했던 태평양 북서부 폭염의 사망자 수만큼의 잠재적 증가 가능성이 크다고 경고하는 방식이다. 현재 아쇿-락펠러센터의 목표는 기상정보 제공 기관과 관계자들이 접근할 수 있는 대화형 누리집을 구축해 15분마다 갱신되는 정보를 제공하는 것이다. 이를 위해 폭염경보와 등급 발표에 대한 미국 기상청의 승인을 신청해 놓은 상태이다. 또한, 미국 서부지역을 대상으로 Heat Risk(지역별로 계절적 특성

[그림 11] 미국 기상청의 서부지역 Heat Risk 표출 예시. Level 0~4까지 5단계로 색을 나누어 공간지도에 표출

Category	Level	Meaning
Green	0	No Elevated Risk
Yellow	1	Low Risk for those extremely sensitive to heat, especially those without effective cooling and/or adequate hydration
Orange	2	Moderate Risk for those who are sensitive to heat, especially those without effective cooling and/or adequate hydration
Red	3	High Risk for much of the population, especially those who are heat sensitive and those without effective cooling and/or adequate hydration
Magenta	4	Very High Risk for entire population due to long duration heat, with little to no relief overnight



을 고려한 열 위험성 및 지속성을 고려)에 대한 예측 정보를 Level 0~4까지 5단계로 분류하여 제공하는 서비스를 시험적으로 운영 중이며, 특보 발령에 대한 보조 자료로 사용 예정이다[그림 11].

폭염에 대한 등급 시스템뿐만 아니라 명명에 대한 논의도 진행 중이다. 태풍의 선례에서 보듯이 이름은 숫자나 기술 용어보다 기억하기 더 쉬우므로 만약 폭염에 이름을 붙여준다면 미디어에서 폭염에 대해 더 쉽게 알리고, 폭염 경고에 관한 관심을 높이며, 지역 사회의 대비를 높일 수 있을 것이다.

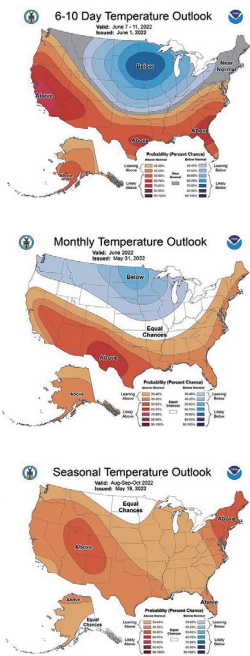
“NIHHIS는 온도와 취약인구를 식별하여 상황별 대처방법을 안내하는 시스템”

여러 도시, 비영리 단체, 과학자, 기업이나 정부 기관들의 글로벌 연합인 고온 회복성 연대(Extreme Heat Resilience Alliance)는 폭염 등급 및 이름에 대한 세계적인 표준을 개발하고 있다. 스페인 세비야와 그리스 아테네는 5월 1일부터 이를 시험적으로 시행하고 있고 6월 1일에는 세비야에서 Zoe, Yago, Xenia, Wenceslao, Vega라는 명칭을 폭염에 붙여주었다. 캘리포니아와 위의 두 도시 외에도 미국의 캔자스시티, 밀워키, 마이애미에서도 폭염의 등급화와 명명법을 추진하고 있다.

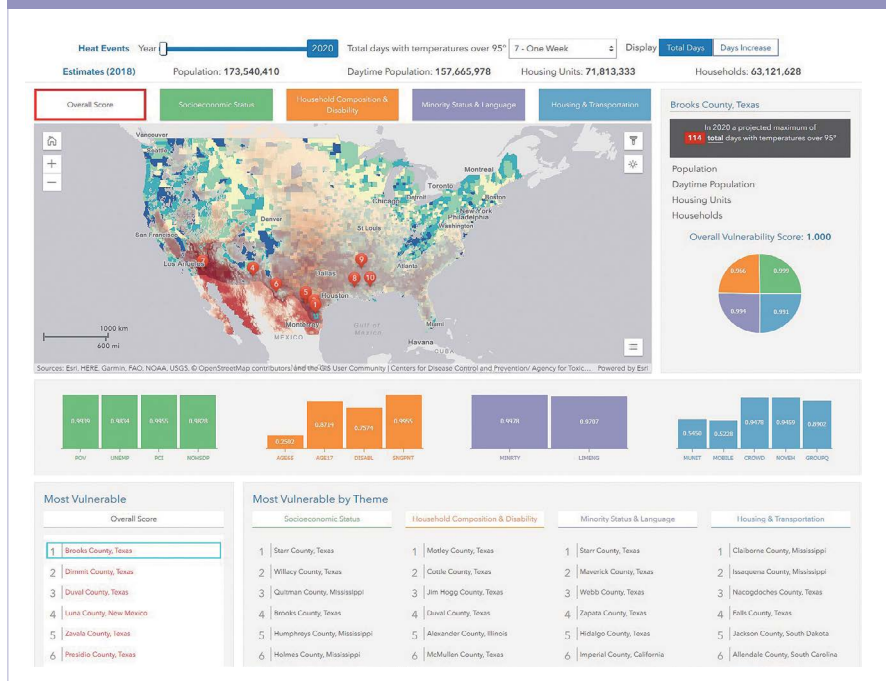
2. 폭염에 관한 종합 정보

질병통제예방센터(CDC)와 해양대기청(NOAA)이 공동으로 개발한 NIHHIS(National Integrated Heat Health Information System)는 이전까지의 특보들이 폭염의 유무에 초점을 맞췄다면, 그뿐만 아니라 여러 시간 규모에 따른 온도 예보[그림 12]와 폭염에 가장 취약한 인구를 식별하고 상황에 맞는 대처법 및 자원 투입 방법을 안내한다[그림 13].

[그림 12] NIHHIS의 예측 기간별 폭염 예상



[그림 13] 연도별, 항목별 폭염 취약 지역 예상



IV. 결론 및 요약

최근 기후변화로 인한 폭염 대응 능력향상은 필수이다. 국내 특보는 최고기온 및 습도를 포함 체감온도를 시범적으로 운영하고 있으며, 기상청은 폭염을 주의보 및 경보로 2단계로 나누어 실황 기반의 특보를 중심으로 운영하고 있다. 앞서 기재한 대로 폭염특보는 사회 및 경제적 전반적으로 중요하며, 추후 기후변화로 인한 폭염이 더욱 늘어날 것으로 예상되기 때문에 해당 시스템의 가치는 지속적으로 증가할 것으로 판단된다. 폭염 일수 증가로 인해 각 산업별 피해가 급증하고 있다. 특히, 한국의 주요 산업인 서비스업 및 제조업 또한 폭염의 피해에서 자유로울 수 없으며, 직 간접적으로 영향을 받을 수 밖에 없다. 산업경제적인 피해를 최소화하기 위해, 국외에서는 각 국가별로 폭염등급, 이름 명명 등의 방식으로 인구 통계와 건축환경 등의 지역적 환경을 고려하여 각국 현황에 부합하는 특보 체계를 지속 개발중이다. 따라서, 국내에서도 폭염특보 선진화는 필수적이며, 특히 예보기반 선행시간 증가 및 특보 단계 세분화, 지역적 환경 고려 등 한국에 적합하고 현실적인 특보 기준 도입이 요구된다.

“ 선행시간 증가,
특보단계 세분화 등
현실적인 특보 기준
도입 통한 선진화
요구됨 ”

참고문헌

- Adrienne Arsht-Rockefeller Foundation Resilience Center. <https://onebillionresilient.org/project/categorizing-and-naming-heat-waves/>
- Bureau of Meteorology, Australian Government. <http://media.bom.gov.au/social/blog/891/how-will-i-know-if-a-heatwave-is-coming/>
- California Department of Insurance. <https://www.insurance.ca.gov/cc/>
- Deutscher Wetterdienst. https://www.dwd.de/EN/weather/warnings/warnings_node.html
- Glynn C. Hulley, 2020: Rising Trends in Heatwave Metrics Across Southern California
- Japan Meteorological Agency. <https://www.data.jma.go.jp/gmd/cpd/twoweek/en/?fuk=1>
<http://www.cdc.go.kr/menu.es?mid=a20304010700>
- Met Office. <https://www.metoffice.gov.uk/public/weather/heat-health/#?tab=heatHealth>
- Met Office. <https://www.metoffice.gov.uk/weather/learn-about/weather/types-of-weather/temperature/heatwave>
- Ministry of the Environment. <http://www.wbgt.env.go.jp/en/wbgt.php>

- Ministry of the Environment. <http://www.wbgt.env.go.jp/en/>
- National Integrated Heat Health Information System. <https://nihhis.cpo.noaa.gov/>
- National Weather Service. <https://www.weather.gov/safety/heat-index>
- National Weather Service. https://www.wpc.ncep.noaa.gov/heat_index_MAX.shtml
- National Weather Service. https://www.wpc.ncep.noaa.gov/early_heat_index_MAX.shtml
- Office of Climate Change and Health Equity, 2022: Climate and Health Outlook: Extreme Heat.
- Yuqiang Zhang, 2021: Costs from labor losses due to extreme heat in the USA attributable to climate change
- 국립기상과학원, 2019: 폭염특보 개선방안 보고서
- 국립방재연구원, 2012: 우리나라 폭염 대응체계 및 제도 개선방안.
- 국립기상과학원, 2017: 응용기상기술 보고서.
- 국립재난안전연구원, 2018: 취약계층 맞춤형 폭염피해 위험 진단기술 개발.
- 기상청, 2006: 폭염특보에 관한연구(I).
- 기상청, 2012: 태풍 및 폭염특보 발표기준 개편.
- 기상청, 2018: 2018년 기상기술정책.
- 소방방재청, 2009: 폭염분야 피해액 산정기준 마련 등 제도화 방안 연구.
- 소방청, 2019: 폭염 재난 위기대응 실무매뉴얼.
- 질병관리본부, 2017: 2017년 폭염으로 인한 온열질환 신고현황 연보.
- 질병관리본부, 2018: 2018년 온열질환 응급실감시체계 운영결과.
- 황미경, 2019: 보건기상정보 제공을 위한 폭염특보 운영현황 및 개선방안 조사. Journal of Environmental Science International.

폭염과 건강영향, 그리고 대응정책

홍윤철 서울대학교 의과대학 교수 ychong1@snu.ac.kr

- I. 폭염과 건강영향
- II. 폭염 대응정책

폭염으로 인한 건강 영향은 열사병, 열탈진과 같은 온열질환으로 나타날 수 있을 뿐만 아니라, 심장질환, 뇌혈관질환 등 순환기계통의 질병을 유발시키거나 기존 질병을 악화시켜서 건강에 상당한 위협을 줄 수 있다. 이 글에서는 폭염이 온열질환과 심혈관질환 등 건강에 미치는 영향을 고찰하고 폭염에 의하여 발생하는 직·간접적인 건강영향의 규모를 파악하고자 하였다. 한편 이를 바탕으로 폭염에 대한 대응정책을 제안하고자 하였다. ■

“ 이상고온 현상은
내부 온도를
조절하는 신체
능력을 손상시켜
건강에 악영향 ”

I. 폭염과 건강영향

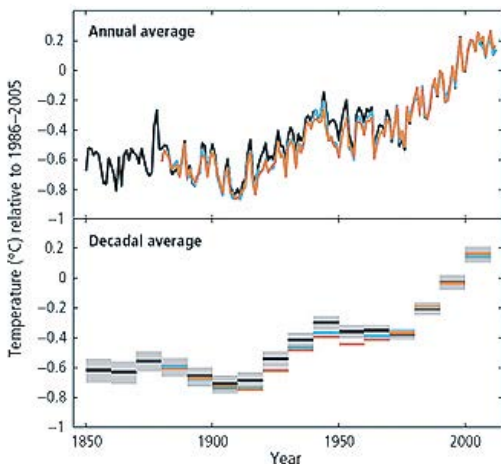
1. 폭염으로 인한 건강영향

기후변화로 인해 1850년 이래 최근 30년 동안 지구 지표온도는 지속적으로 상승했고, 1901년 이후 지구의 거의 모든 지역에서 온난화가 일어난 것으로 나타났다(그림 1). 지구 온난화는 이상고온 현상을 동반하는데 이로 인한 건강 피해 사례가 유럽과 아시아 등 세계 곳곳에서 발생하고 있다. 우리나라에서도 2018년 극심한 폭염으로 농업, 해양수산, 산림, 환경, 건강 등 사회 전반에 큰 피해를 입은 바 있다. 2018년 여름철(6~8월)에 전국 평균기온이 1973년 기상 관측을 시작한 이래 가장 높았고, 폭염일수(일 최고기온이 33℃ 이상인 날)는 31.4일(평년 9.8일)로 기록적 무더위가 지속된 바 있다.

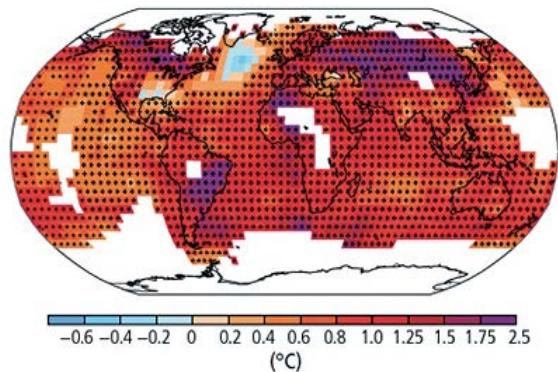
이상고온 현상은 내부 온도를 조절하는 신체의 능력을 손상시켜 건강에 상당한 영향을 미친다. 내부 온도 조절의 상실은 열경련, 열탈진, 그리고 극심한 더위로 인한 고열을 유발하는 열사병 등 다양한 질병을 유발할 수 있다. 온열질환 이외에도

[그림 1] 지구온난화의 다양한 관측 지표들 (IPCC, 2014)

(a) Observed globally averaged combined land and ocean surface temperature anomaly 1850-2012



(b) Observed change in surface temperature 1901-2012



“ 기온 역치를
초과하면
기온이 높아질수록
건강영향이 증가 ”

이상 고온은 심혈관 질환, 뇌혈관 질환과 같은 순환기계 질환을 초래하거나 악화시킬 수도 있다. 특히 어린이, 임산부, 노인은 체온을 조절할 수 있는 능력이 떨어지기 때문에 이상고온의 영향에 더 취약하다. 이외에도 이상고온에 노출될 때 위험한 인구집단에는 야외에서 일하는 근로자, 야외 운동 선수, 사회적으로 고립된 사람, 저소득층 등이 포함된다.

이상고온의 건강영향에 대한 연구들에서도 폭염과 같은 이상기온 현상은 온열 질환 등 건강에 심각한 영향을 주는 것으로 나타났다(Patz, 2005). 전 세계 400개 도시를 대상으로 다양한 기간에 걸쳐 기온에 따른 건강영향을 분석한 연구를 보면 특정한 기온 역치를 초과하는 경우 기온이 높아질수록 건강영향이 증가하는 것으로 분석되었다(Guo, 2018).

2. 폭염으로 인한 초과사망

기온이 상승함에 따라 폭염으로 인한 건강영향이 증가한다고 알려져 있다. 폭염의 직간접적 영향을 모두 포함하여 폭염의 영향을 평가할 수 있는 도구로 전 세계적으로 ‘초과사망자수’의 개념이 많이 사용되고 있다. 초과사망자수는 어떤 특정한 노출로 인하여 발생하는 사망자수가 해당 노출이 없을 때 기대되는 사망자를 초과하여 발생한 사망자수를 의미한다. 그런데 환자 개개인의 건강영향에 대해서는 폭염과의 관련성을 입증하기 어렵기 때문에, 초과사망자수는 통계자료를 통해 인구집단에서 발생한 초과사망의 규모를 추정하는 방법을 사용한다.

초과사망을 산정하는 비교적 간단한 방법으로는 폭염이 발생한 날 또는 폭염이 지속되는 동안의 사망자수를 전년 또는 평년과 비교하여 산출하는 것이다. 이러한 방법은 간단히 예년과 대비하여 같은 시기의 사망자수 변화를 확인하는 데에는 유용하지만 특정 재난 발생이나 인구 고령화에 따른 사망자수 증가 등 사회적 특성이나 인구 동향 등 연도별로 변하는 영향을 배제하고 폭염의 영향만을 분석하기 어렵다는 한계가 있다.

이러한 한계를 극복하고 통계적으로 단위기온 상승, 즉 1℃ 상승에 의한 사망위

“ 기상 및 사망자료
활용하여
일최고기온
상승으로 인한
초과사망자수
산출 ”

험도를 산출하여 실제 기온 상승에 따른 사망자수의 증가로 초과사망자수를 산출하는 것이 보다 타당한 것으로 알려져 있다. 이러한 개념을 활용하여 2018년 폭염의 영향을 포함하여 본 저자의 연구실에서 2006-2018년 기간 동안 폭염으로 인한 초과사망을 살펴본 바가 있다.

사용하였던 방법을 간단히 소개하면 다음과 같다. 우선, 각 시도별(16개) 기상 및 통계청(2006-2016) 전체 사망자료(all-cause mortality)를 이용하였다. 즉 기상 및 통계청 자료를 이용하여 일최고기온 33℃ 이상에서 1℃ 증가에 따른 사망위험도를 산출한 다음 일별사망자와 기온차이(일최고기온-33℃), 그리고 폭염 여부 등을 고려하여 폭염이 발생한 날 전체사망자 중에서 일최고기온 상승으로 인한 초과 사망자수를 산출하였다. 여기서 폭염이 발생한 날은 기상청에서 정의하는 폭염 기준에 맞춰 '일최고기온이 33℃ 이상인 날'로 정의하였다. 다만 2018년 초과사망자의 경우 통계청의 사망원인통계 자료가 발표되기 이전이라 공식 통계 대신 인구 변동과 계절성을 고려한 2018년 일별 총사망 건수를 예측하여 산출하였다. 이어서, 일별사망자, 기온차이(일최고기온-33℃), 폭염 여부 등을 고려하여 폭염이 발생한 날 전체

〈표 1〉 폭염으로 인한 초과 사망자 산출 공식

일최고기온 33℃ 이상에서 1℃ 상승에 따른 상대위험도 산출하여 일별사망자수에 곱한 값의 합을 산출

- Step 1: 아래 공식을 이용하여 역치기온(θ) 이상에서 기온(T) 증가에 따른 16개 시도별 상대위험도 산출

$$\log(E_{ij}) = \beta_0 + \beta_1 \times T_{ij} + \beta_2 \times (T_{ij} - \theta)_+ + \beta_3 \times \text{humidity}_{ij} + \beta_4 \times \text{downday}_{ij} \quad (1)$$

여기서, i 는 일별 변수, j 는 지역변수, n 은 일별 사망자수, θ 는 일최고기온, β 는 일평균습도, n 은 시간성, n 은 요일과 휴일을 고려한 dummy 변수를 뜻함.

- Step 2: 일별 초과사망자 산출은 일별 사망건수, 일최고기온과 33도와의 차이값, 사망위험도를 곱해서 산출하며(아래 공식 (2) 참조), 연도별 지역별 초과사망자는 공식 (3)과 같이 산출(Lim 2019)

$$AC_{ij} = Y_{ij} \times \frac{e^{\beta \times \Delta T_{ij}} - 1}{\beta \times \Delta T_{ij}} \times I_{ij} \quad (2)$$

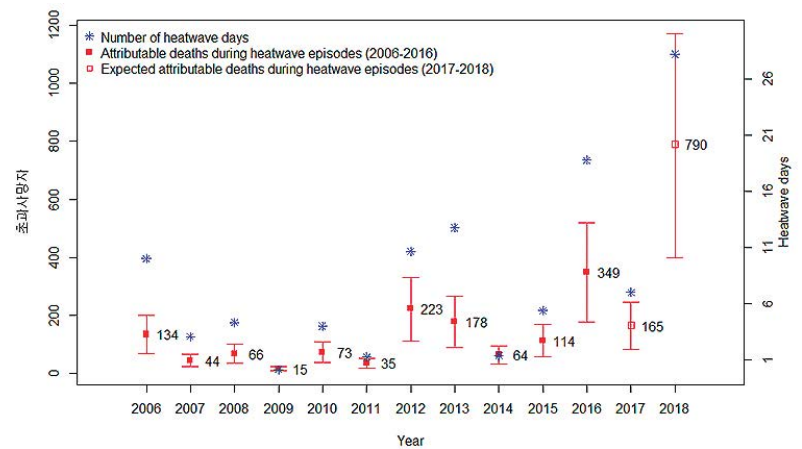
$$aAC_{jk} = \sum_{i=1}^{91} AC_{ijk} \quad (3)$$

여기서, AC_{ij} 는 일별 초과사망자, aAC_{jk} 는 연도별 지역별 초과사망자, Y_{ij} 는 일별 사망자, β 는 기울기 ($\beta_1 + \beta_2$), ΔT_{ij} 는 역치기온 33℃와 당일 일최고기온과의 차이, I_{ij} 는 폭염 여부(1=폭염 있음, 0=폭염 없음), i 는 일별 변수, j 는 지역변수를 뜻함.

사망자 중에서 일최고기온 상승으로 인한 초과 사망자수를 산출하였다. 이때 사용된 초과 사망 산출 방법론은 기온과 사망의 관련성을 고려하여 초과사망자수를 산출하는 방법을 적용(Mitchell 2016, Michelozzi 2010)하였다(표 1).

사망통계자료가 가용하였던 2006-2016년의 기간 동안 폭염의 당일 초과사망자수는 2016년에 349명으로 가장 많았고, 2009년에 15명으로 가장 적었다. 2018년 사망원인통계는 연구시점에 공개되지 않아 2016년도 기준으로 예측한 모형에서 도출하였고, 인구변동과 계절별 패턴을 반영하였기 때문에, 사망통계자료를 이용하여 산정한 폭염의 초과사망자수와 크게 다르지 않을 것으로 사료된다. 이와 같이 예측 모형으로 산출된 사망자수를 이용하여 2018년 폭염의 초과 사망자수는 790명으로 나타났다 [그림 2].

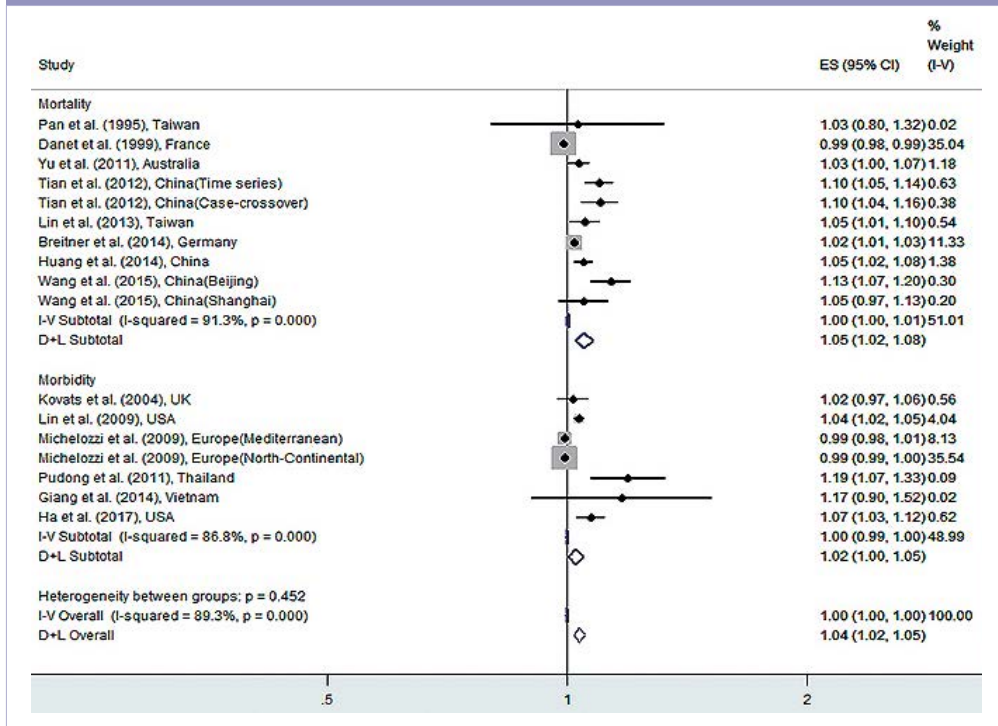
[그림 2] 폭염의 연도별 건강영향(Lag 0, 95% Confidence intervals in vertical lines)



한편 폭염으로 인한 건강 영향 중 대표적으로 영향을 받는 질환인 심혈관 질환에 대한 영향을 살펴보기 위해 여러 나라에서 수행된 연구들을 모아 메타분석하였다. 즉 다양한 연구디자인과 다양한 지역들에서 기온 상승에 따른 심혈관 질환 사망률과 유병률에 대해 알아보고자 하였다. 그 결과, 기온 1℃ 상승에 따른 심혈관 질환으로 인한 사망률 상승은 5%로 나타났으며 이는 통계적으로 유의하였다(95% 신뢰구간 2%에서 8%까지). 기온 1℃ 상승에 따른 심혈관 질환의 유병률은 4% 상승하는 결과를 보였으며, 이 역시 통계적으로 유의한 결과를 보였다(95% 신뢰구간 2%에서 5%까지). 즉 폭염으로 인한 사망률과 유병률의 증가는 특정한 지역이나 국가에서 나타나는 현상이 아니라 전세계적으로 나타나는 현상이다[그림 3].

“ 폭염
초과사망자수는
기상재해
사망자 수의
2배 ”

[그림 3] 이상고온이 심혈관질환 사망률과 유병률에 미치는 영향



II. 폭염 대응정책

1. 폭염에 대한 보건학적 관리정책

기후변화와 이로 인한 자연재해, 환경, 해양 및 수산, 농업, 생태계, 보건 등에 대한 영향이 과학적으로 밝혀지면서 기후변화가 중요한 화두로 떠오르고 있다. 한반도 기후환경변화와 관련 있는 여름철 폭염에 의한 초과사망자수는 기상재해로 인한 사망자수의 2배 정도로 나타났다. 이와 같이 기후환경변화는 폭염에 따른 사망자의 변화, 대기오염의 악화, 감염병 질병의 빈번한 출현 등 국내에서도 직·간접적으로 상당한 영향을 주고 있다.

한편으로는 기후환경변화가 건강에 미치는 영향에 대한 다양한 증거들이 보고

“ 기온 변화가
초래하는
생물학적 영향은
사회·경제적
수준에 의해
다르게 나타남 ”

되면서 기후변화 적응 정책에 대한 보건학적 접근의 필요성이 대두되고 있다. 하지만, 국가 차원의 기초자료, 즉 기상인자나 보건인자에 대한 자료는 미흡하기 때문에, 이를 체계적으로 갖추고 갖춰진 자료를 바탕으로 기후환경변화의 부정적 영향을 줄이기 위한 적응기술 개발이 시급하다. 특히 기후변화 영향에 대한 초기의 관심은 간접적인 기전을 통한 건강영향, 즉 기상재해나 농작물 생산의 감소, 혹은 곤충매개 감염병 등으로 인한 영향에 주로 초점이 맞추어져 있었으나, 기온의 변화 역시 건강에 직접적으로 영향을 미친다는 연구결과들이 발표된 후 기후 변화의 직간접적인 영향 모두에 관심을 갖고 대책을 마련할 필요성이 있다.

기후변화에 의한 영향은 모든 사람에게 똑같이 나타나는 것이 아니라 지역, 기간, 사회경제적 지위, 동반질환, 유전자 등에 따라 다르게 나타날 수 있으므로 영향을 크게 받는 민감집단을 규명하는 것도 매우 중요하다. 예를 들어 소득수준이 낮은 군에서 기온 1℃ 증가에 따른 온열질환 외래환자 발생은 10.1%(95% 신뢰구간, 9.0%, 11.2%) 증가하는 반면에, 높은 소득군에서는 8.2%(95% 신뢰구간, 6.9%, 9.5%) 증가하는 것으로 나타났다. 즉 기온 변화가 주는 생물학적인 영향이 사회경제적 수준에 의하여 다르게 나타날 수 있는 것이다.

기후변화로 인하여 이상고온 현상이 자주 발생할 수 있을뿐만 아니라, 폭염이 지속되는 날 수가 증가할 수 있다는 것을 고려하면 폭염으로 인한 피해는 앞으로 더 증가할 것으로 예상된다. 국내에서는 폭염의 건강영향을 모니터링하기 위해 질병관리청에서 온열질환 응급실감시체계를 운영하고 있다. 2011년부터 질병관리청이 전국에서 응급실을 운영하는 의료기관의 자발적인 협력체계를 구축하여 지자체와 함께 온열질환 응급실감시체계를 운영해 왔으며, 여름철 동안 응급실에 내원한 온열질환자를 신고받아 폭염으로 인한 온열질환의 발생 추이와 주요 특성을 일 단위로 신속히 공개하여 예방활동을 돕는 역할을 해왔다.

폭염으로 인한 건강영향은 이와 같이 직접적 영향인 온열질환에 대한 신속한 모니터링이 중요하지만, 간접적인 영향도 포함된 전체 영향을 확인하여 정책을 수립하고 평가하기 위해서는 기존의 질환이 악화되어 유병률과 사망률이 증가하는 변

“ 초과사망자수
분석은
국민관심 증대,
기후변화 대응,
기타 환경요인의
영향 연구 등에
도움 ”

화에 대한 파악도 요구된다. 따라서 직접적인 영향인 온열질환을 포함하되 전체 사인을 고려한 초과사망자 산출로 폭염의 건강영향에 대해 객관적으로 수치화할 필요가 있다. 다만 초과사망자 연구는 국제적으로 합의된 기준이 마련돼 있지 않아 지속적인 연구를 통해 산출방법과 지표를 지속적으로 검토할 필요가 있다. 특히 2018년 9월 폭염이 「재난 및 안전관리 기본법」 개정에 의해 자연재난으로 법정화 된 만큼 폭염 건강영향에 대한 체계적인 감시체계 운영과 연구를 위해 인프라를 확충하고 운영체계를 제도화하는 지속적인 노력이 필요할 것으로 보인다.

2. 폭염에 대한 지역사회 대응 정책

폭염에 의한 질병 영향과 초과사망자의 정량적인 수치는 폭염에 대한 국민 관심을 증대시키고 기후변화 대응뿐만 아니라, 예방 및 교육에도 활용될 수 있다. 이러한 자료는 오존과 같은 다른 환경요인에 의한 건강영향 연구에도 도움이 되며, 지역사회에서 폭염의 대응정책을 마련할 때에도 활용이 가능하다. 예를 들어 에어컨이나 무더위 쉼터에 대한 접근성을 높이는 적응 조치는 극심한 더위가 건강에 미치는 영향으로부터 주민들을 보호할 수 있다. 공공장소에 그늘을 제공하고 나무를 심는 것과 같은 녹지정책은 건전한 조경 디자인을 하는 데 도움이 되며, 시원한 지붕 설치를 지원하는 정책은 도시 환경을 보다 쾌적하고 건강하게 만들 수 있다. 이러한 조치는 온실가스를 줄이는 데 도움이 된다는 점에서도 유익하다.

또한 이미 진행 중인 기후변화 영향에 대해 우리 지역사회를 덜 취약하게 만드는 조치를 취할 필요가 있다. 폭염 조기경보시스템은 폭염 위험을 알리고 보호 조치를 취할 수 있게 함으로써 사람들을 보호할 수 있다. 이러한 경고 시스템은 치료에 들어가는 비용보다 훨씬 저렴한 비용으로 만들 수 있어 비용효과적이다. 온열질환을 예방하기 위한 폭염 경보는 대중이 더위를 피하기 위해 모일 수 있는 무더위 쉼터를 개설하는 등의 지역사회 예방 조치를 취하게 하는데 큰 도움이 된다. 또한 폭염 경보 동안 수분을 유지하고 격렬한 야외 운동을 피하도록 적절한 정보를 제공하면 극심한 더위의 영향으로부터 개인을 보호할 수 있다.

“ 기후변화-질병
발생 연관성 파악
및 정량적 분석으로
정책 수립에 활용 ”

한편 건축법과 조경법을 개정하여 에너지 효율성을 높이는 방법도 활용할 수 있다. 이러한 법은 건물로부터 극심한 열 발생이 생기지 않도록 건물의 능력을 향상시키는 역할을 할 것이다. 예를 들어, 식물 덮개가 있는 녹색 지붕과 전략적으로 배치된 그늘 나무는 실내 온도를 낮추고 건물의 에너지 효율성을 향상시킬 수 있다. 또한 가로수와 숲이 우거진 지역을 포함한 도시 숲은 도시 열섬을 완화하여 지역 기온을 크게 낮출 수 있을 것이다.

이와 같이 기후변화로 인한 질병 발생의 연관성을 파악하고 정량적인 방법으로 접근하여 실제 정책을 수립하는데 활용할 필요가 있다. 온열질환 감시체계를 운영하고, 폭염으로 인한 질환 발생의 변화를 파악하여 중장기 계획을 수립하며, 극한 기온에 따른 질병 예보제를 구축하고 활용하는 정책을 적극적으로 만들어나가는 한편, 지역사회 수준에서 기후변화에 대한 대응력을 높이는 정책을 제도적으로 수행할 필요가 있다. 특히 기후변화 대응 정책을 준비할 때 기후변화를 초래하는 원인을 줄이기 위한 저감 정책과 연계성을 가질 수 있도록 하는 것이 중요하다.

참고문헌

- Guo Y, Gasparrini A, Li S, Sera F, Vicedo-Cabrera AM, Coelho MdSZS, et al. 2018: Quantifying excess deaths related to heatwaves under climate change scenarios: A multicountry time series modelling study. 15:e1002629.
- IPCC. 2014: Climate change 2014, Synthesis report.
- Michelozzi P, de' Donato FK, Bargagli AM, D'Ippoliti D, De Sario M, Marino C, et al. 2010: Surveillance of summer mortality and preparedness to reduce the health impact of heat waves in Italy. Int J Environ Res Public Health 7:2256-2273.
- Mitchell D, Heaviside C, Vardoulakis S, Huntingford C, Masato G, Guillod BP, et al. 2016: Attributing human mortality during extreme heat waves to anthropogenic climate change. 11:074006.
- Patz JA, Campbell-Lendrum D, Holloway T, Foley JA. 2005: Impact of regional climate change on human health. Nature 438. 310-317.

폭염(열파)이 국민 건강에 미치는 영향을 고려한 폭염특보 개선 방향 제언

최광용 제주대학교 지리교육과 교수 tribute@hanmail.net

- I. 우리나라 폭염특보 시스템의 역사와 개선 필요성
- II. 폭염이 인간 생명에 미치는 영향
- III. 향후 우리나라 폭염특보 개선 방향에 관한 제언
- IV. 맺음말

20세기 후반부터 지구온난화가 더욱 가시화되면서 폭염(열파)에 의한 대규모 사망사고가 발생하여 전 세계적으로 폭염경보시스템 개발의 중요성은 더욱 부각되기 시작하였다. 우리나라 기상청도 여름철 극한고온현상에 대응하기 위해 2000년대 후반부터 일최고기온과 열지수를 바탕으로 폭염특보체계를 처음 구축하였으나, 최근까지 다양한 시행착오를 겪어왔다. 그리고 마침내 2020년 여름철부터 WBGT를 변형시킨 ‘더위체감지수’를 기반으로 한 독자적인 폭염특보 체계를 운영해오고 있다. 본 고에서는 우리나라 폭염특보 개발 역사를 살펴봄으로써 국민들이 이해하기 쉽고, 실제 폭염에 의한 건강 피해 예방에 효율성을 높일 수 있는 폭염특보 운영에 관한 추가적인 제언을 하고자 한다. 우선, 폭염특보에 기준이 되는 인체 체감온도지수는 보편 타당성을 위해 동아시아 여름철 기후특성을 잘 반영하는 관측 기상 변수 기반의 국제적으로 널리 사용되는 체감온도지수(예. 기온과 습도만을 사용하는 열지수(heat index))를 사용하는 것이 바람직할 것으로 판단된다. 둘째, 현재 폭염주의보/폭염경보로 이분화된 폭염특보 단계를 실제 직업군별(예. 야외 육체 노동직/실내 사무직 등) 실제 폭염 환경 노출 정도별로 구체화하여 세분화시킬 필요성이 있다. 마지막으로 우리나라 지역 규모의 폭염예보 기술 향상을 위해 폭염 발생과 관련성이 있을 만한 잠재성을 지닌 동아시아 주변 지역의 종관기후 시스템들의 역할에 관한 과학적인 근거들에 관한 산학연 연계 연구·개발 체계를 지속적으로 운영해 나갈 필요성이 있다고 판단된다. ■

1. 우리나라 폭염특보 시스템의 역사와 개선 필요성

여름철 강한 무더위인 폭염은 조선왕조실록에서조차 여름이면 반복적으로 기록되었던 극한고온현상이었음에도 불구하고 우리나라에서 대국민 폭염특보를 개발할 필요성이 처음 제기된 것은 21세기 초에 와서이다. 2004년부터 기상청과 소방방재청은 고온 발생 시 일사병, 열사병 등의 건강 문제와 폭발 가능 시설물의 사고 위험성을 국민들에게 홍보하기 시작하였다. 이후 기상청은 2007년 폭염특보 체계 개발 및 시험 운영, 2008년 공식적으로 폭염특보를 발표하기 시작하였다. '폭염'은 2007년 당시 폭염특보 개발을 담당한 연구진이 설문 조사를 통해 선정한 용어로서 국내 소통강화를 위한 목적이 반영된 것이며, 국제적으로 강한 무더위를 지칭하는데 통용되는 용어는 열파(heat waves)이다. 기상청은 개발된 폭염특보에 따라 2000년대 후반부터 일최고기온이 33℃ 이상이고 열지수(heat index)가 최고 32℃ 이상인 고온의 상태가 2일 이상 지속될 것으로 예상되면 폭염주의보를 발령하기 시작하였다. 폭염경보는 일최고기온이 35℃ 이상이고 열지수가 최고 41℃ 이상의 고온상태가 2일 이상 지속될 것으로 예상될 때 발표되었다. 한편, 보건복지부에서는 2010년부터 「폭염건강피해감시체계」를 구축하여 폭염에 따른 건강피해 정보를 제공하기 시작하였다.

폭염특보 정보 생산자 입장에서 일최고기온은 단일 기상 요소인 데 비해 열지수는 기온 이외에도 습도 정보가 추가적으로 필요하다. 또한, 폭염은 무더운 상태가 2일 이상 지속될 것이라는 지속기간도 고려하기 때문에 기온에 비하여 예측 정확도가 낮은 습도가 고려되는 열지수를 사용하는 것에 대한 어려움이 있었다. 그 결과, 2012-2019년 동안에 기상청은 폭염특보에 주로 일최고기온 33℃와 35℃ 기준만을 사용하였고, 열지수 임계치는 사용하지 않게 되었다. 그러나, 이와 같이 일최고기온만을 기준으로 폭염을 정의함에 따라 폭염특보 정보 수요자 입장에서 초여름에 발령하는 폭염특보 발령 빈도가 실제 국민들이 체감하는 것에 비해 과대하다고 인식하는 경우가 많게 되었다. 반면, 초여름에 비해 장마 기간 동안에는 높은 습도로 인해 체감온도는 기온보다 높아짐에도 불구하고 일최고기온은 그리 높지

“ '폭염'은 국내 소통 강화 목적이 반영, '열파'가 국제 통용되는 강한 더위 용어 ”

“ 1980년대 폭염
사망사고 발생으로
폭염경보시스템
개발의 중요성
부각 ”

않아 오히려 폭염특보가 발령되지 않는 사례가 잦아지게 되었다. 장마철에 인체가 느끼는 불쾌감이 높아지더라도 에너지 절감 차원에서 대중교통의 냉방 장치를 가동하지 않는 경우가 많아져 불만도 느껴지게 되었다. 다행히도 기상청에서는 이러한 시행착오를 겪은 후 2020년 여름철부터 습도의 효과도 고려한 WetBulb Globe Temperature(WBGT)를 변형한 체감온도지수 기반의 폭염특보를 발령하기로 결정하였다. 다만, 해당 체감온도지수의 단점을 보완할 필요성도 있으면, 영향 예보적 측면에서 직업군별로 보다 세분화된 폭염특보 단계로 구성된 시스템으로 정비해 나갈 필요성은 여전히 남아 있다. 더군다나, 21세기 후반기로 갈수록 지구온난화에 의해 강하고 오래 지속되는 폭염이 더욱 자주 발생하게 될 것으로 전망되기 때문에 우리나라 폭염특보 시스템의 개선은 중요한 문제로 대두될 것으로 예상된다.

이 글에서는 향후 우리나라에 적합한 폭염특보 체계를 향상시켜 나가는데 재고해 볼 만한 그간의 과학적 연구 결과들을 살펴보고자 한다. 첫째, 과거 폭염이 야기한 피해 사례에 관한 국내외 연구 성과들을 종합하여 폭염(열파)이 자연재해로서 갖는 중요성을 제시하였다. 둘째, 이를 바탕으로 향후 우리나라에 적합한 폭염경보 체계 구축을 위해 어떠한 점을 향상시켜 나가는 것이 바람직할 것인가에 관한 제언을 제시하였다.

II. 폭염이 인간 생명에 미치는 영향

세계기상기구(WMO, 2022)는 최근 폭염(열파)을 포함한 극한기상 특보 시스템을 운영함으로써 위험기상 현상에 의한 사망자가 1970년대 연평균 5만 명 수준에서 2010년대 2만 명 이하로 감소했다고 발표하였다. 특히, 1980년대 후반 이후 폭염에 의한 대규모 사망사고가 전 세계 여러 지역에서 자주 발생하면서 국가마다 폭염경보시스템 개발의 중요성은 더욱 부각되었다. 특히, 2003년 여름 유럽에서 강한 폭염이 오랫동안 지속되면서 수십만 명의 사망자가 발생하면서 지구온난화시대에 폭염경보시스템 구축의 중요성이 더욱 강조되기 시작하였다(UNEP, 2004).

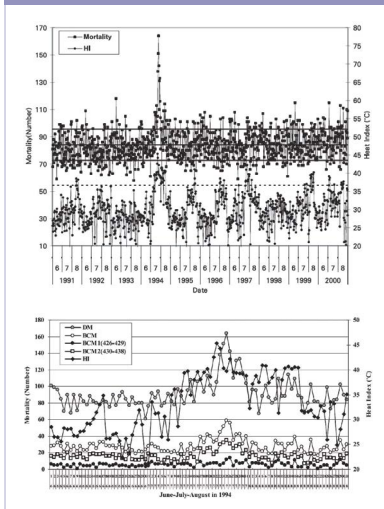
미국, 일본 등 기상선진국에서는 일찍이 20세기 후반부터 폭염경보시스템 개발을 위해 과학적 기초로 활용 가능한 강한 폭염 피해에 관한 통계 기후학적 또는 종관 기후학적 관점의 연구들을 수행하였다(예. Changnon et al., 1996; Nakai et al., 1999). 실제 미국 필라델피아에서는 1990년대 일찍이 폭염경보시스템을 가동하여 수년 동안 수백 명의 폭염 사망자를 감소시킬 수 있었다고 평가하였다(Ebi, 2004).

우리나라에서 강한 무더위에 의해 사람이 사망할 수 있다는 연구 결과가 처음 제시된 것은 2000년대 중반 이후이다. 20세기 말까지 우리나라의 생리 기후학적 연구는 주로 대도시 규모의 오존이나 동아시아 지역 규모로 나타나는 황사 등 대기오염물질이 국민 건강에 미치는 영향에 관한 연구들이 주를 이루었다. 최광용 등(2005)은 처음으로 인구가 밀집한 서울의 열지수와 사망자 간의 관련성을 분석하여 1994년에 이례적인 폭염 발생으로 수백 명 이상의 초과 사망자가 발생하였음을 제시하였다[그림 1]. 이후 다양한 후속연구들에서 우리나라의 여름철 무더위는 노약자 중심으로 단기간에 수천 명 이상의 사망자를 초래할 수 있는 자연 재해임을 확인시켜왔다(김지영 등, 2006; 박종길 등, 2008; Kysely and Kim 2009; 김도우 등, 2014).

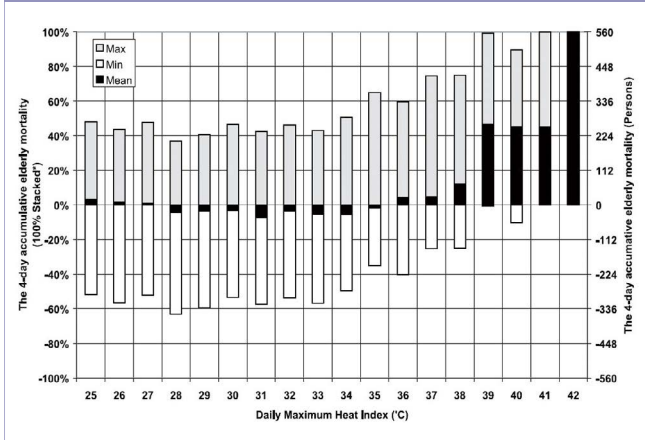
2000년대 중반 이후에는 우리나라 사람에 적합한 폭염특보 개발을 위한 기초 연구들이 이루어지기 시작하였다. Choi(2006)는 우리나라 주요 도시지역의 일최고열지수와 무더위에 의한 사망에 취약한 65세 이상 고령자의 초과 사망자(해당 연월일의 사망자와 계절, 요일 등 특성을 고려한 평년 사망자 간의 차이)를 비교하여 일최고 열지수 특정 임계치(32℃, 35℃, 38℃, 41℃) 이상에서 사망자가 급증함을 파악하여 이를 바탕으로

“ 2000년대 중반 이후 우리나라에 적합한 폭염특보 개발 위한 기초연구들이 시작 ”

[그림 1] 1990년대(위)와 1994년(아래) 여름철 서울의 일최고열지수와 일별 노인사망자(최광용 등, 2005)



[그림 2] 1991~2000년 우리나라 전 지역 평균적인 3일 연속 일최고 열지수와 누적 노약자(65세 이상) 사망자의 관련성(Choi, 2006)

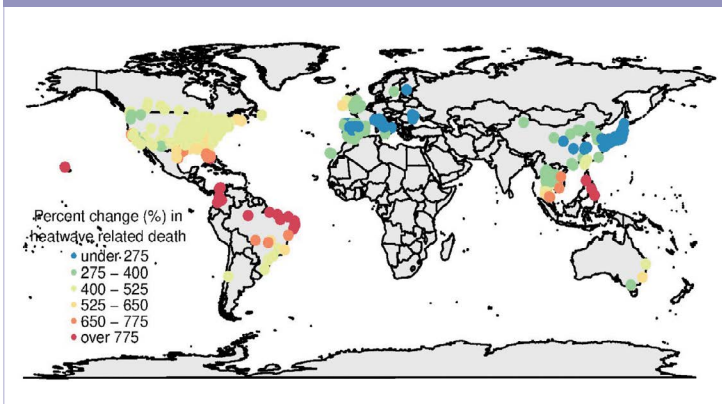


“ 최근 약 30여 년간
폭염 사망자는
전세계적으로
37%이상
증가 ”

로 한 폭염(열파) 경보체계를 제안하였다(그림 2). 전 세계 각 국가는 서로 다른 기후 후대에 속하지만 오래 한 지역에서 거주하면서 기후순응 과정을 거치면서 각 기후 지역별로 사람들의 무더위에 대한 적응 정도는 약간씩 차이를 보이게 된다. 이러한 차이를 파악하기 위해서는 우리나라 사람들이 사망하게 되는 체감온도 임계치를 파악하기 위해서는 열지수와 더불어 사망자 등과 같은 사회과학적 자료를 함께 살펴 봐야 할 필요성이 있다. 여름철에 강한 무더위가 발생하면 연령에 따라서도 적응력이 다르게 나타나는데, 특히, 대부분 심혈순환계 만성질환을 갖고 있는 65세 이상의 노인들은 무더위에 의한 사망 취약군이다(최광용 등, 2005). 나이가 들수록 체온조절에 관여하는 심혈순환계 장기들이 노후화되어 지나친 심장박동이 한계에 다다르면 사망에 이르는 경우가 많아지게 되는 것이다. 과거 북한의 독재자였던 김일성도 비만으로 심혈관계 만성질환을 갖고 있었을 것으로 짐작되는데, 지난 100년 중 가장 무더웠던 1994년 7월 강한 무더위를 피하지 못하고 사망한 바 있다.

최근에는 기후변화적 측면에서 지난 약 100년 동안 우리나라는 기온상승 대비 습도의 영향으로 체감온도가 더 많이 상승하고 있다는 연구 결과도 제시되고 있다(Choi and Lee, 2020). 전 세계적으로도 지역별로 폭염(열파) 빈도가 증가하는 지역이 많아지고 있는데, 과거 200여 년간 인간의 화석연료 사용에 의한 온실기체 배출 증가에 의한 인위적 기후변화에 의해 최근 약 30여 년간 폭염 사망자가

[그림 3] 온실가스 고배출 시나리오(RCP 8.5) 시 현재(1971~2020년) 대비 21세기 중반기(2031~2080년) 전 세계 폭염에 의한 사망자 변화 전망치(Guo et al., 2018.)



전 세계적으로 37% 이상 늘어났다고 평가되고 있다(Perkins-Kirkpatrick and Lewis, 2020; Vicedo-Cabrera et al., 2021). 2003년 유럽을 강타한 강력한 열파 사례를 통해서도 짐작되듯이 남부 유럽 국가들은 다른 지역에 비해 온난화에 의해 강해지는 폭염에 의한 사망자가 크게 증

“ 폭염특보 기준인
체감온도지수는
덜 복잡하면서,
여름철 기후
특성을 잘 반영
하는 것이 바람직 ”

가하였음을 알 수 있다. 우리나라의 경우에는 여러 대도시 중 인구가 가장 집중된 서울에서 약 25% 정도 증가한 것으로 평가되고 있다. 이러한 폭염(열파)은 21세기 후반으로 갈수록 더욱 강력해지고 더욱 빈번해질 것으로 전망되고 있다(Meehl and Tebaldi, 2004; Russo et al., 2014). 온실가스의 고배출 추세가 지속되고 적절한 보전 정책이 적용되지 않으면 특정 국가에서는 21세기 전후(1971-2010년)보다 21세기 중반기(2031~2080년) 폭염(열파)으로 인한 사망자가 수십 배 이상 증가할 것으로 전망된다(Guo et al., 2018)[그림 3]. 따라서 우리나라에서도 무더위지는 미래 여름철에 더 넓은 범위에 걸쳐 강하고 오랫동안 지속되는 메가폭염(mega heat waves)에 대한 대비책 마련이 필요하다고 여겨진다.

III. 향후 우리나라 폭염특보 개선 방향에 관한 제언

폭염특보에 기준이 되는 인체 체감온도지수는 입력변수가 덜 복잡하면서도 동아시아 여름철 기후특성을 잘 반영하는 것일수록 바람직하다. 여름철 북태평양 아열대 고기압과 고위도에서 이류해 오는 한랭한 기단과 만나면서 동아시아 지역에 정체 전선이 형성되면 고온다습한 여름철 우기(중국 메이유, 우리나라 장마, 일본 바이우)가 나타난다. 지금까지 제시된 여러 여름철 체감온도지수 중에서 열지수(heat index)는 기온뿐만 아니라 습도까지 고려함으로써 고온다습한 동아시아 여름철 무더위를 정량화하는 데 적합하다고 판단된다. 열지수는 미국 텍사스텍 대학 섬유 연구 센터의 학자였던 Steadman(1984)가 처음 제시한 보통체감온도(Universal Apparent Temperature)의 여름철 고온 부분을 Rothfusz(1990)가 기온과 습도에 의해 상승되는 체감온도를 고려하여 정교화한 회귀식이다. 다만, Rothfusz(1990)의 연구 보고서를 상세히 읽어보면, 열지수가 체감온도 정량화 시 사용 편의성을 위해 기온과 습도 두 요소만을 공식에서 사용한 것이기 기온과 습도 이외의 다른 기후 요소들이 체감온도에 미치는 영향을 고려하지 않았다는 것은 아님을 밝히고 있다. 더 나아가 최근 일부 다른 연구(Li et al. 2018; Choi and

“정교한 WBGT
개선, 더위체감
온도 보완, 특보
체계 세분화 필요”

Lee, 2020)에서는 연중 상시적으로 체감온도를 정량화하기 위해 기온 이외에도 겨울철 대륙에서 불어오는 한랭건조한 바람 효과를 고려한 바람냉각지수, 여름철 저위도 해양에서 유입되는 기류에 의해 높아지는 습도 효과, 그리고 이외 계절에는 Steadman(1984)의 보통체감온도를 결합한 방법을 제안하고 있다는 점도 주목해 볼 필요성도 있다고 여겨진다.

2010년대 후반에는 우리나라 폭염특보에 기준이 되는 기후 요소인 일최고기온이 인체가 체감하는 온도와 동일한 지에 대한 의문이 제기되기 시작하였다. 폭염 발생 시 장마전선은 다른 지역으로 다소 이동하여 열지수처럼 체감온도 예측에 사용되는 습도 예보값은 수증기를 갑자기 이루시키는 다른 종관기후시스템이 존재하지 않는 한 대체로 부정확하지 않을 것이다. 다행히 기상청은 약 10여 년 동안의 시행착오 끝에 2020년 여름철부터 일최고기온을 기준으로 한 폭염특보 체계를 벗어나 여름철 다습한 환경까지 고려한 체감온도지수를 바탕으로 한 폭염특보체계를 운영하기 시작하였다. 2020년 초여름부터 현재 운영되는 폭염특보는 “일최고체감온도가 각각 33℃, 35℃ 이상이 2일 이상 지속될 것으로 예상될 때에 폭염주의보와 폭염경보를 발령”하고 있다. 다만 이 정의도 그 이전까지 사용되어오던 2일 이상 일최고기온이 33℃, 35℃ 이상으로 지속될 것으로 예상될 때라는 기존 폭염 정의에서 사용되어오던 임계값을 그대로 사용한 것으로서 국민 보건 자료와의 관련성 분석에 기초한 것이라고 보기에는 다소 무리가 있다. 우리나라 기상청에서 사용한 WBGT의 경우에는 Yaglou and Minard(1957)의 모델을 변형한 것으로 최근에는 이보다 더 정교한 WBGT가 제시되어 있다.(Lee et al., 2020). 또한, 실제 국민들이 기존 기온값과 각 지수의 수치에 따라 예상하는 정도가 다르기 때문에 체감온도를 정량화한 WBGT에 임의적으로 3.5℃값을 더하여 ‘더위체감온도’라고 제시한 점도 향후 보완이 있어야 할 것으로 판단된다. 경보 자체도 다른 나라의 폭염경보 체계[표 1]에 비해 우리나라 폭염특보는 주의보(더위체감지수 33℃ 이상)와 경보(더위체감지수 35℃ 이상) 두 단계만 제시되어 있다. 우리나라의 폭염특보 체계도 국민 건강에 미치는 영향을 고려하여 여러 단계로 세분화할 필요성이 있다. 또한, 우

리나라 기상청에서 대상별, 노동환경별 지수 개발을 염두하고 WBGT를 기초로 한 체감온도지수를 개발한 것이라면 이에 충실할 필요가 있다고 여겨진다. 체감온도지수는 보편적인 열환경만을 반영한 것이므로 다른 열환경에 노출된 군집(예. 야외의 땀별에 노출된 일용직 노동자)에 적용 가능한 정보체계를 상세화 시켜 나갈 필요성이 있어 보인다.

우리나라 기상청에서는 앞서 언급한 정량적 기준 이외에도 정성적인 폭염 정의로 ‘급격한 체감온도 상승 또는 폭염 장기화 등으로 중대한 피해 발생이 예상될 때와 이러한 피해가 광범위한 지역에서 발생 예상될 때’에 폭염주의보와 폭염경보를 발령함을 추가적으로 명시하고 있다. 폭염 영향적인 측면에서는 맞는 표현이겠지만, 폭염 예보적인 측면에서는 ‘중대한 피해 발생’이라는 정성적인 표현이 다소 애매모호할 수 있다. 여기에서 한가지 주목할 만한 사항은 한파특보의 기준과 유사하게 ‘급격한 체감온도 상승 또는 폭염 장기화’라고 기술한 부분이라고 여겨진다. 폭염의 지속 기간 측면에서 최광용 등(2005)에 따르면 1994년 7월 하순에 과거 100년 동안의 관측 역사에서 가장 강력한 열파가 서울에 발생하였을 때 일최고열지수 최고치가 나타난 시점과 사망자가 나타난 시점을 기준으로 하면 현재 기상청의 ‘2일 이상 지속될 것으로 예상될 때’라는 기준보다는 ‘3일 이상 지속될 것으로 예상될 때’라는 기준을 사용하는 것이 타당해 보인다. 또한, 서서히 상승한 체감온도보다는 급격한 상승

〈표 1〉 기상선진국(미국, 독일, 영국, 일본)들의 열파(heat wave) 경보 체계

특보	발령 기준	발령 기준
미국	열지수(heat index)	Excessive heat outlook, excessive heat watch, heat advisory, heat warning 등 4단계
독일	인지온도(perceived temperature)	Severe heat stress, extreme heat stress 등 2단계
영국	최고기온, 최저기온	Awareness, alert, heat wave, emergency 등 4단계
일본	온열지수(WBGT)	주의, 경계, 매우 경계, 위험 등 4단계

〈표 2〉 우리나라에 적합한 폭염특보 체계(Choi (2006))의 내용을 일부 수정

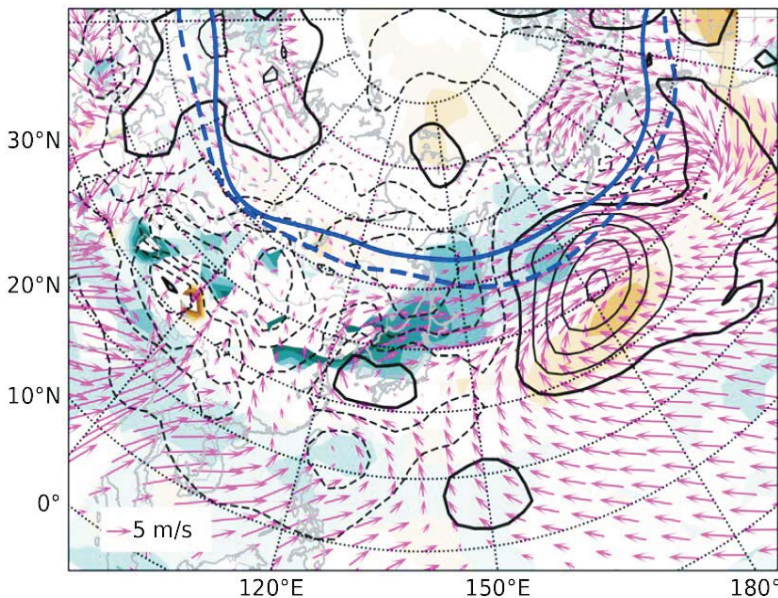
범주	체감온도	국민 건강에 미치는 영향		특보
	3일 연속 일최고열지수(C3DMHI)	최대 사망자 기준 노약자 사망 발생 정도	백만 명당 노약자 사망자	
준열파(Hot Spell)	32℃ < C3DMHI ≤ 35℃	사망자가 증가 추세로 전환	-8	관심
열파(Heat Wave)	35℃ < C3DMHI ≤ 38℃	최대 사망자의 20% 이하 발생	+14	주의
강열파(Strong Heat Wave)	38℃ < C3DMHI ≤ 41℃	최대 사망자의 40% 이하 발생	+92	경고
극열파(Extreme Heat Wave)	41℃ < C3DMHI	최대 사망자의 80% 이상 발생	+203	위험

“ 폭염은 인간
건강뿐만 아니라,
의식주 생활과도
밀접하게 연관되어
있음 ”

사망에 더욱 취약하다(Lee et al., 2020). 이에 대한 세부적인 기준을 마련하기 위해 실제 온열환자들을 대상으로 한 생리 기후학적인 연구들이 필요하다고 여겨진다.

날씨누리에 제시된 위험 수준별 대응 요령을 관심/주의/경고/위험의 4단계로 구분하고 있으나(기상청, 2022.6.29), 구체적으로 체감온도가 어느 임계치 이상일 때 인지는 정확하게 밝히고 있지 않다. 폭염(열파)은 생활의 쾌적함을 저해하는 수준을 넘어 단시간에 많은 사람들이 사망에 이르게 하는 자연재해임이 전 세계적으로 잘 규명된 바 있다. 이와 관련하여 가장 일차적이고 치명적인 폭염피해로 볼 수 있는 노약자 사망피해를 바탕으로 만들어진 우리나라 대상 폭염체계 연구 결과들도 참고해볼 만한 것이다[표 2]. 또한, 폭염은 인간 건강뿐만 아니라 의식주 생활과도 밀접하게 관련성이 있다. 농작물이나 식생 생태계의 가뭄 피해, 가축의 폐사나 생산성 저하, 전력 과부하 문제 등 다양한 영역에서 인간 생활과 관련되어 있다. 예를 들어 2010년 러시아 곡창지대에 발생한 폭염으로 인하여 곡물 시장에서 가격 파동

[그림 4] 우리나라 여름철 체감온도 고온극한현상 발생일의 동아시아 종관 기후 요소 (해수면기압(검은색 실선/파선), 850hPa 벡터바람(분홍색 화살표), 극소용돌이 위치(파란색 굵은 실선/파선), 850hPa 비습(청색/황토색)) 아노말리 합성장(Choi and Lee, 2020)



이 있었다. 2022년 올해에도 장기간 누적된 COVID19 여파 및 러시아-우크라이나 간 전쟁 영향이 외에도 인도, 미국 서부 등 전 세계 여러 지역에서 연쇄적으로 발생한 폭염은 개발도상국의 곡물 파동 및 물가상승을 부추기고 있다. 따라서 이처럼 여러 분야에 적합한 폭염경보 체계를 구축해 나갈 필요성도 있다고 여겨진다.

마지막으로 향후 폭염예보 기술 향상을 위해 동아시아 폭염 발생 관련 종관기후 시스템의 잠재적인 역할에 관한 연구 결과들도

“ 강한 추위는 '한파',
강한 무더위는
'열파' 재정립 논의
필요 ”

주목할 필요성이 있음을 언급하고 싶다(Kysely et al. 2010; Lee and Lee 2016; Wang et al. 2016; Choi and Lee, 2020). Choi and Lee(2020)에 따르면, 동아시아 광역 지역에 걸쳐 발생하는 체감온도 고온극한현상은 하강기류에 의해 열돔을 구축시키는 북태평양 아열대 고기압이나 이러한 북태평양 고기압의 확장에 영향을 주는 극소용돌이(circumpolar vortex)와 동아시아 여름 몬순 전선의 상대적인 배치 등 다양한 종관 규모 이상의 기후시스템들이 관여하고 있음을 강조하고 있다[그림 4].

IV. 맺음말

21세기 기후변화가 초래할 여러 가지 극한기후현상 강화 현상 중 폭염(열파)은 가장 단시간에 대규모의 인명 피해 및 재산 피해를 유발하는 자연재해가 될 것이다. 맑은 날씨는 문제가 없고, 비바람이 부는 날씨만 관심을 갖는 것은 인위적 기후변화 시대에 버려야 할 시각인 셈이다. 앞서 우리나라 폭염특보 개선을 위한 여러 의견을 제시하였으나 첨언할 만한 사항을 언급하면 아래와 같다.

21세기 인위적 온난화 시대의 폭염(열파)은 온난화가 심화됨에 따라 지역에 따라 기상학적 여름철(6~8월)을 넘어서서 늦봄과 초가을을 포함한 5-10월에도 발생할 수 있다. 예를 들어 우리나라 중부 지방에서 인구가 가장 집중된 서울 지역의 경우 9월 중순에도 무더위에 의해 전력 수급 안정도를 걱정하는 경우가 빈번하게 발생하고 있다. 이는 폭염이 발생 가능한 기후학적 여름철의 시작과 종료 및 지속기간에 관한 정보부터 재정립할 필요성이 있음을 의미한다(최광용 등, 2006). 이와 관련하여 우리나라에서는 무더운 8월 초순에도 입추(立秋)라고 하는 중국에서 유래된 24 절기를 계속 사용해야 하는지도 재고해 볼 필요성이 있다고 판단된다.

또한, 국가 기관에서 용어 사용 시에는 다소 신중을 기할 필요성이 있다. 폭염특보 체계와 관련하여 일차적으로 앞서 언급한 대로 전 세계적으로 폭염보다는 열파(heat waves)라는 용어가 국제적으로 통용되고 있으므로 폭염이라는 용어 사용의

적합성도 재고해 볼 시점이 되지 않았나 하고 생각된다. 국민들이 겨울철에 강한 추위를 한파(cold waves or cold surge)라고 알고 있듯이, 여름철 강한 무더위도 열파(heat waves)라고 언급한다고 해서 큰 혼란이 있을 것으로 여겨지지 않는다. 과거 기상청에서 제공한 영향예보 용어 중 겨울철 바람냉각지수(windchill index)만을 체감온도라고 칭하고, 여름철 체감온도를 정량화한 지수는 열지수(heat index)로 하였으나, 현재는 이를 개선하여 여름, 겨울에 관계없이 인체가 느끼는 온도를 체감온도로 통일시켜 사용하고 있는 점은 다행스러운 일이라 할 수 있다.

참고문헌

- 김도우, 정재학, 이종철, 이지선, 2014: 우리나라 폭염 인명피해 발생 특징, 대기, 24(2), 225-234.
- 김지영, 이대근, 박일수, 최병철, 김정식, 2006: 한반도에서 여름철 폭염이 일 사망률에 미치는 영향, 대기, 16(4), 269-278.
- 기상청, 2022.6.29.: <https://www.weather.go.kr/w/weather/warning/impact.do>.
- 박종길, 정우식, 김은별, 2008: 폭염이 일사망자수에 미치는 영향에 관한 연구, 한국대기환경학회지, 24(5), 523-537.
- 최광용, 권원태, David A. Robinson, 2006: 우리나라 사계절 개시일과 지속기간, 대한지리학회지, 41(4), 435-456.
- 최광용, 권호장 and 최종남, 2005: 높은 체감온도가 서울의 여름철 질병 사망자 증가에 미치는 영향, 1991-2000, 예방의학회지, 38(3), 283-290.
- Changnon, S.A., Kunkel, K.E., and Reinke, B.C., 1996: Impacts and responses to the 1995 heat wave: a call to action, Bulletin of the American Meteorological Society, 77(7), 1497-1506.
- Choi, G., 2006: A definition of Korean heat waves and their spatio-temporal patterns, Journal of the Korean Geographical Society, 41(5), 527-544.
- Choi, G. and Lee, D.E., 2020: Changing human-sensible temperature in Korea under a warmer monsoon climate over the last 100 years, International Journal of Biometeorology, 64(5), 729-738.
- Ebi, K.L., Teisberg, T.J., Kalkstein, L.S., Robinson, L. and Weiher, R.F., 2004: Heat watch/warning systems save lives: estimated costs and benefits for Philadelphia 1995-98, Bulletin of the American Meteorological Society, 85(8), 1067-1074.
- Guo, Y., Gasparrini, A., Li, S., Sera, F., Vicedo-Cabrera, A.M., de Sousa Zanotti Stagliorio Coelho, M., Saldiva, P.H.N., Lavigne, E., Tawatsupa, B., Punnasiri, K. and Overcenco, A., 2018, Quantifying excess deaths related to heatwaves under climate change scenarios: A multicountry time series modelling study, PLoS medicine, 15(7), p. e1002629.

- Kysely, J., Huth, R. and Kim, J., 2010: Evaluating heat-related mortality in Korea by objective classifications of 'air masses', *International Journal of Climatology*, 30(10), 1484-1501.
- Kysely, J. and Kim, J., 2009: Mortality during heat waves in South Korea, 1991 to 2005: how exceptional was the 1994 heat wave?, *Climate Research*, 38(2), 105-116.
- Lee, S.W., Kim, I.G., Kim, H.M., Lee, D.G., Lee, H.C. and Choi, G., 2020: Spatio-temporal patterns of the minimum rest time for outdoor workers exposed to summer heat stress in South Korea, *International Journal of Biometeorology*, 64(10), 1755-1765.
- Lee, W.S. and Lee, M.I., 2016: Interannual variability of heat waves in South Korea and their connection with large-scale atmospheric circulation patterns, *International Journal of Climatology*, 36(15), 4815-4830.
- Li, J., Chen, Y.D., Gan, T.Y., Lau, N.C., 2018: Elevated increases in human- perceived temperature under climate warming, *Nature Climate Change*, 8, 43-47.
- Meehl, G.A. and Tebaldi, C., 2004: More intense, more frequent, and longer lasting heat waves in the 21st century, *Science*, 305(5686), 994-997.
- Nakai, S., Itoh, T., and Morimoto, T., 1999: Deaths from heat stroke in Japan: 1968-1994, *International Journal of Biometeorology*, 43(3), 124-127.
- Perkins-Kirkpatrick, S.E. and Lewis, S.C., 2020: Increasing trends in regional heatwaves, *Nature communications*, 11(1), 1-8.
- Rothfus L.P., 1990: The heat index equation (or more than you ever wanted to know about heat index). National Weather Service Technical Attachment (SR90-23), Fort Worth.
- Russo, S., Dosio, A., Graversen, R.G., Sillmann, J., Carrao, H., Dunbar, M.B., Singleton, A., Montagna, P., Barbola, P. and Vogt, J.V., 2014: Magnitude of extreme heat waves in present climate and their projection in a warming world, *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 119(22), 12-500.
- Steadman, R.G., 1984: A universal scale of apparent temperature. *Journal of Applied Meteorology*, 23(12), 1674-1687.
- UNEP (United Nations Environmental Programme), 2004: Impacts of summer 2003 heat wave in Europe. *Environment Alert Bulletin*, 2, 1-3.
- Vicedo-Cabrera, A.M., Scovronick, N., Sera, F., Royé, D., Schneider, R., Tobias, A., Astrom, C., Guo, Y., Honda, Y., Hondula, D.M. and Abrutzky, R., 2021: The burden of heat-related mortality attributable to recent human-induced climate change, *Nature climate change*, 11(6), 492-500.
- Wang, W., Zhou, W., Li, X., Wang, X. and Wang, D., 2016: Synoptic-scale characteristics and atmospheric controls of summer heat waves in China, *Climate dynamics*, 46(9), 2923-2941.
- WMO, 2022: <https://public.wmo.int/en/resources/world-meteorological-day/world-meteorological-day-2022-early-warning-early-action/early-warnings-save-lives-and-livelihoods>
- Yaglou, C.P. and Minard, D., 1957, Control of Heat Casualties at Military Training Centers, *Archives of Industrial Health*, 16, 302-316.

호우특보와 재난관리

조재웅 국립재난안전연구원 방재기준평가센터 침수예측팀장 jwcho80@korea.kr

- I. 서론
- II. 호우특보 현황
- III. 재난관리를 위한 호우특보의 개선방향

2019년 전 세계의 자연재난 중 77%가 기상, 기후와 관련된 재해였으며, 특히 호우로 인한 재산 및 인명피해가 가장 큰 비율을 차지할 만큼 기상과 재해와는 밀접한 관계가 있다. 이러한 재해를 줄이기 위해서는 기상예보 및 특보는 매우 중요한 정보이다. 호우예측의 정확도는 계속하여 향상되고 있으나, 최종적으로 제공하는 호우특보의 경우 효율성이 여전히 제자리에 있다고 볼 수 있다. 본 고에서는 이러한 문제점을 파악하고, 앞으로 호우특보의 개선방향에 대해 제시하고자 한다. ■

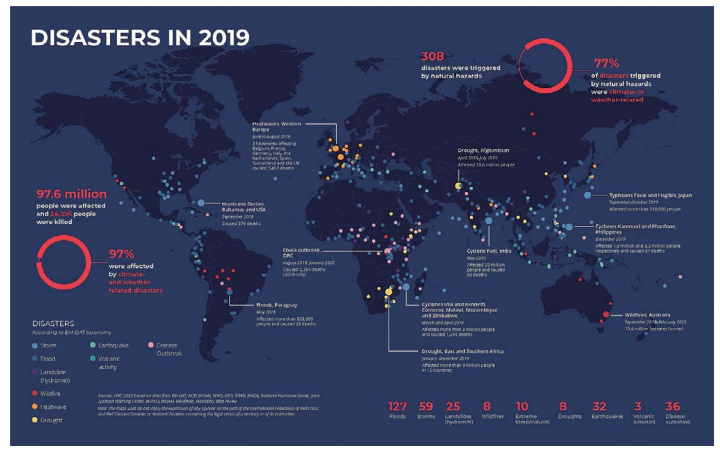
I. 서론

“ 2020년 8, 9월
4개의 태풍으로
1조 2,585억 원,
46명의 피해 발생 ”

IFRC(International Federal of Red Cross and Red Crescent Societies)의

World Disaster Report 2020에 따르면, 2019년 각종 재난·재해로 인해 전 세계적으로 약 9,760만 명이 피해를 입었고, 24,396명이 사망하였으며, 308건의 자연재해 중 77%가 기상, 기후와 관련된 재해였던 것으로 나타났다(그림 1). 특히 인명피해의 97%가 기상, 기후와 관련이 있을 정도로 기상과 재해는 매우 밀접한 관계에 있다.

[그림 1] Disaster in 2019(IFRC, World Disaster Report 2020)



2020년에는 세계적으로 호우로 인한 피해가 많이 발생하였다. 인도네시아에서는 400mm 이상의 집중호우로 최소 66명이 사망하고, 6만 명의 이재민이 발생하여 2007년 이후 최악의 홍수피해를 기록하였으며, 브라질 남동부에서도 3만 명 이상의 이재민이 발생하는 홍수피해가 발생하였다. 가까운 일본과 중국에서도 기록적인 호우로 인한 피해가 발생하였는데, 일본에서는 누적 1,300mm가 넘는 비가 내렸으며, 구마모토현에서는 시간당 최대 98.0mm 이상의 역대 최대 강우가 발생하였다. 이로 인해 규슈지방에선 69명이 사망·실종하였으며, 약 14,000동의 주택이 파손되거나 침수되는 피해가 발생하였다. 중국에서는 장마와 태풍의 간접영향으로 장기간 연속적인 집중호우가 발생하였다. 장시성, 후베이성 등에서는 일 300mm 이상 내린 비로 인해 141명이 사망·실종하였으며, 이재민은 약 3.8천만 명에 이르렀다(국립재난안전연구원, 2021). 우리나라도 중부지역 기준으로 54일간의 장마가 발생함으로써, 1973년 이후 가장 긴 장마철을 기록하였고, 8월과 9월 4개의 연이은 태풍 영향으로 1조 2,585억 원의 재산피해 및 46명의 인명피해가 발생하였다. 이는 최근 10년(2010-2019)간 연평균 재산피해 3,883억 원, 인명피해 14명과 비교할 때 약 3배가 넘어서는 피해이다(기상청, 2021).

“ 집중호우, 태풍
인한
인명/재산피해는
감소 추세이나
침수로 인한
인명피해는
증가 ”

우리나라의 집중호우와 태풍으로 인한 과거 피해현황을 분석해보면 1990년대 연평균 인명피해는 111.5명, 재산피해는 5,285억 원이었으며, 2000년대에는 인명피해 68.7명, 재산피해 1조 5,041억 원, 2010년대에는 인명피해 15.3명 재산피해 3,206억 원으로, 2000년대 태풍 루사, 매미 등 일부 대형태풍의 영향을 제외하면 인명피해와 재산피해 모두 감소하고 있는 추세이다. 그러나, 세부적으로 피해 원인을 구분해보면 침수로 인한 인명피해는 증가하고 있다. 특히 2020년 부산에서 지하차도 침수로 인한 사망사고와 대전에서의 인명피해 등 한해에만 침수로 인하여 5명의 인명피해가 발생하였다.

이러한 피해의 원인은 갑자기 많은 비가 집중해서 내린 영향도 있지만, 그 위험성을 알리는 수단이 없었기 때문이다. 현재 기상청의 호우주의보, 경보 정보로 강우의 위험정도를 파악할 수는 있지만, 얼마나 위험한지 일반 국민들이 알기는 어렵다. 또한 전국에 동일한 기준을 적용함으로써, 각 지역에서 느끼는 호우특보의 체감수준 또한 매우 다르다.

II. 호우특보 현황

1. 해외 호우특보

호우특보를 운영하는 기준은 각국의 기상예측 기술수준과 지형적, 사회적 환경을 반영한다. 기술수준이 높은 지역은 1~3시간 이내의 짧은 강우를 기준으로 설정하고 있으며, 지형적, 사회적으로 서로 다른 기준 설정의 필요성에 따라 다양한 기준을 설정하고 있다<표 1>.

캐나다는 계절적 특성을 반영하여 여름/겨울/해빙기, 강우의 지속시간에 따라 단기/장기, 지형적 특성을 반영하여 지역적으로 구분된 호우특보를 운영하고 있다. 대만은 4단계의 기준을 운영하고 있으며, 1시간/3시간/24시간 누적강우에 대한 기준을 마련하고 있다. 일본은 일반적인 강우에 대해 경보/주의보/조기주의 경보의

“ 유럽은 호우 관련
영향예보 도입하여
피해 정도를
고려한 특보체계
운영 중 ”

3단계 특보기준을 갖고 있으며, 태풍이나 집중호우로 인해 10년에 한 번 발생할 수 있는 강우량의 폭우가 예상되는 경우에는 폭우특별경보를 발표하고 있다. 특히 전국 동일한 기준이 아니라 우리나라의 읍면동에 해당하는 시정촌 단위의 기준을 설정하여 지역적 특성을 반영하고 있다.

유럽에서는 영향예보를 도입하여 단순 기상현상 예측정보 제공에서 나아가 기상

〈표 1〉 주요 해외 호우특보

국가	특성	경고단계	발령기준
캐나다	단기 (폭우)	경고 (warning)	1시간 이내 50mm 이상의 강우량이 예상되는 경우 ※ 앨버타, 서스캐처원, 매니토바, 온타리오 및 퀘벡(Nunavik제외)
			1시간 이내 15mm 이상의 강우량이 예상되는 경우 ※ 브리티시
			1시간 이내 25mm 이상의 강우량이 예상되는 경우 ※ 브리티시 컬럼비아, 유콘, 노스웨스트 준주, 누나부트, 뉴브런즈윅, 프린스 에드워드 아일랜드, 노바스코샤, 뉴펀들랜드 및 래브라도의 나머지구역
	장기 (여름)		24시간 이내 50mm 이상의 강우량이 예상되는 경우 48시간 이내 75mm 이상의 강우량이 예상되는 경우 ※ (a) Nunavik 및 브리티시 컬럼비아 일부 지역을 제외한 전국
			24시간 이내 25mm 이상의 강우량이 예상되는 경우 ※ (b) 뉴브리티시 컬럼비아의 내부 건조 구역
			24시간 이내 100mm 이상의 강우량이 예상되는 경우 ※ (c) 내륙 밴쿠버 섬, 웨스트 밴쿠버 섬, 노스 밴쿠버 섬, 센트럴 코스트-해안 구간 및 북부코스트-해안구간
	장기 (겨울)		24시간 이내 25mm 이상의 강우량이 예상되는 경우 ※ (a)
			24시간 이내 50mm 이상의 강우량이 예상되는 경우 48시간 이내 75mm 이상의 강우량이 예상되는 경우 ※ (b)
			24시간 이내 100mm 이상의 강우량이 예상되는 경우 ※ (c)
	장기 (해빙기)		24시간 이내 25mm 이상의 강우량이 예상되는 경우 ※ 내부 브리티시 컬럼비아, 포트 넬슨, 먼초 호수공원- 스톤마운틴 공원, 디즈레이크, 카시아 산맥 및 아틀린
대만	강우	Heavy Rain	24시간 누적 강우량이 80mm를 초과하거나 1시간 누적 강우량이 40mm를 초과한 경우
		Extremely Heavy Rain	24시간 누적 강우량이 200mm를 초과하거나 3시간 누적 강우량이 100mm를 초과한 경우
		Torrential Rain	24시간 누적 강우량이 350mm를 초과하거나 3시간 누적 강우량이 200mm를 초과한 경우
		Extremely Torrential Rain	24시간 누적 강우량이 500mm를 초과한 경우
		amber	시간당 30mm를 넘는 폭우가 내리거나 예상될 경우

예비	강우	amber	시간당 30mm를 넘는 폭우가 내리거나 예상될 경우
		red	시간당 50mm를 넘는 폭우가 내리거나 예상될 경우
		black	시간당 70mm를 넘는 폭우가 내리거나 예상될 경우
대피	폭우	폭우특별경보 (level5) 폭우특별경보 (level5)	48시간 강우량 및 토양우량지수가 50년 빈도로 발생할 경우 (5km격자로 산출, 50개 이상 격자일 경우 발표) 3시간강우량 및 토양우량지수가 50년빈도로 발생할 경우 (5km격자로 산출, 누적강수량이 150mm 이상 격자중 10개 이상 격자일 경우 발표) 기준치(과거 피해 초래한 것에 상당한 값) 이상이 되는 1km 격자가 10격자 이상 나타나고 강우가 200mm/hr 이상 더 예상될 경우 격자에 해당하는 시정촌에 발표
		호우경보 (level3)	시정촌 별 표면우량지수 기준, 토양우량지수 기준 이상일 경우
	강우	호우주의보 (level2)	시정촌 별 표면우량지수 기준, 토양우량지수 기준 이상일 경우
		조기주의 경보 (level1)	경보급의 현상이 5일전까지 예상되고 있을 때, 기상현상의 가능성을 고/중의 2단계로 발표함
내년	폭우	Weather warnings (level1)	날씨로 인한 낮은 확률의 위험 발생 가능
		Warning of significant weather (level2)	날씨로 인한 보통의 위험 발생 가능, 1시간에 15~25l/m ² 또는 6시간 동안 20~35l/m ²
		Warning of severe weather (level3)	날씨로 인한 매우 높은 확률의 위험 발생 가능, 1시간에 25~40l/m ² 또는 6시간 동안 35~60l/m ²
		Warning of extreme weather (level4)	날씨로 인해 극도로 위험한 상황, 1시간에 40l/m ² 이상 또는 6시간 동안 60l/m ² 이상
	연속 강우	Weather warnings (level1)	날씨로 인한 낮은 확률의 위험 발생 가능
		Warning of significant weather (level2)	날씨로 인한 보통의 위험 발생 가능, 12시간 내 25~40l/m ² OR 24시간 동안 30~50l/m ² OR 48시간 내 40~60l/m ² OR 72시간 내 60~90l/m ²
		Warning of severe weather (level3)	날씨로 인한 매우 높은 확률의 위험 발생 가능, 12시간 내 40~70l/m ² OR 24시간 동안 50~80l/m ² OR 48시간 내 60~90l/m ² OR 72시간 내 90~120l/m ²
		Warning of extreme weather (level4)	날씨로 인해 극도로 위험한 상황, 12시간 내 70l/m ² 이상 OR 24시간 동안 80l/m ² 이상 OR 48시간 내 90l/m ² 이상 OR 72시간 내 120l/m ² 이상
조기	강우에 의한 영향	grey(매우낮음)	저지대 및 취약도로 영향, 일부 운송도로 영향, 일부지역에 강수로 인한 영향
		yellow(낮음)	가정과 기업, 취약도로의 침수, 일부 운송도로와 여행에 영향, 사회 기반시설 단기 중단 가능
		amber(중간)	가정과 기업의 홍수, 빠른 유속과 깊은 물에 의한 생명 위험, 건물 및 구조물 손상, 운송도로 및 여행에 영향 (일부도로 폐쇄), 사회 기반시설 중단, 일부 지역사회 접근불가
		red(높음)	가정과 기업의 광범위한 홍수, 빠른 유속과 깊은 물에 의한 생명 위험, 건물 및 구조물의 손상 또는 붕괴, 운송도로 및 여행에 영향(광범위한도로폐쇄), 사회기반시설의 장기간 중단
프랑	강우에 의한 영향	green (활동에 지장 없음)	특별한 경계가 없음
		yellow(주의)	일반적인 현상이지만 국지적으로 위험 할 수 있으므로 주의가 필요
		orange(위험)	상습침수지역의 침수발생 가능성, 하수관로 역류, 교통 운송 상황에 영향 및 정전 발생 가능
		red(매우위험)	대부분의 하천에서 홍수 발생, 하수관 역류, 교통 운송 마비, 하천 주변 홍수 예상, 정전 발생

“ 침수피해 증가로
특보 기준시간/
강우 변경에
대한 요구 제기 ”

으로 인해 발생할 수 있는 피해 정도를 고려하여 특보를 운영하고 있다. 독일에서는 강우에 따른 피해 영향을 지속시간에 따라 폭우와 연속강우로 구분하여 각각 4단계의 특보를 운영하고 있으며, 1시간/6시간/12시간/24시간/48시간/72시간 등 다양한 지속시간에 대한 강우기준을 운영하고 있다. 영국과 프랑스에서는 특별한 강우 기준을 제시하고 있지 않으며, 강우로 인해 발생할 수 있는 영향 정도에 따른 4단계의 특보를 운영하고 있다.

2. 우리나라의 호우특보

우리나라의 호우 특보는 호우주의보와 호우경보의 2단계로 운영 중에 있다. 1964년 호우특보를 처음 도입하였으며, 최근까지 사용된 호우 특보는 2011년 개정 기준 6시간/12시간의 기준시간으로 기존의 기준시간 보다 짧은 시간에 대한 기준으로 변경하였다. 그러나 이보다 더 짧은 시간에 많은 비가 집중해서 내리는 집중 호우가 점차 증가하고, 그로 인한 침수피해가 빈번하게 발생하면서 호우특보의 기준시간 변화에 대한 요구가 있었다. 특히 3시간 이내의 짧은 시간에 피해가 발생하는 국지성 호우에 대해 미국과 같이 Flash flood와 flood에 대해 구분하여 운영하는 것에 대한 요구가 있었다. 또한 강우의 패턴 변화, 도시 방재시설의 향상 등을 고려하여 특보발령 기준강우의 변경에 대한 요구가 있었다. 이러한 의견들은 2017년 장마포럼시 공식적으로 제시되었으며, 이외에도 주의보와 경보에 대한 용어의 변경에 대한 요구도 있었다.

호우특보에 대한 다양한 의견들이 제시됨에 따라 2017년 기상청에서는 「시간당 강우강도를 고려한 호우특보 발표기준 개선방안 연

〈표 2〉 2017년 개선된 호우특보 기준

구 분	현 행	개 선
호우주의보	70mm/6hr 110mm/12hr	60mm/3hr 110mm/12hr
호우경보	70mm/6hr 180mm/12hr	90mm/3hr 180mm/12hr

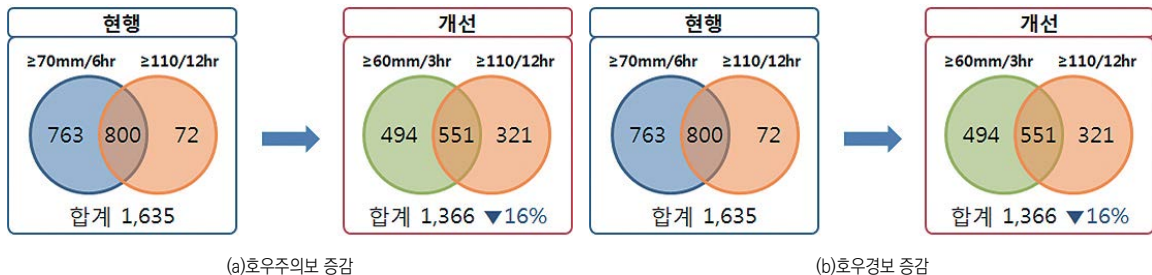
구」를 통하여 호우특보의 기준시간을 개선하고, 최근의 재해발생 강우를 고려하여 기준 강우량을 마련하고자 하였다(표 2). 해당 연구에서는 다양한 기준을 제시하

“ 호우특보 개선으로
특보발령횟수
감소시 재난관리
효율성 증가,
업무피로도 감소
기대 ”

였지만, 최종적으로는 6시간 기준을 3시간으로 변경하고 12시간 기준 강우량은 기존과 변동이 없이 유지하였다(기상청, 2017).

호우특보의 변경으로 인해 기대되는 효과 중 재난관리의 입장에서 가장 크게 체감할 수 있는 부분은 최근의 재해발생 강우를 고려한 새로운 강우기준을 활용하여 실제 피해가 발생할 수 있는 강우가 내렸을 때 특보가 발령됨으로써 재난관리의 효율성이 증가하고, 빈번한 비상근무 횟수가 줄어들어 업무피로도가 감소되는 것이다. 2017년 당시 최근 5년(2012-2016)간 자연재난으로 인한 중앙대책본부의 운영 횟수는 총 142회였으며, 운영 일수는 총 275일이었다. 이중 호우로 인한 운영 횟수는 68회로 총 운영 횟수의 절반에 가까운 48%였으며, 운영 일수는 110일로 40%를 차지하였다. 태풍으로 인한 운영횟수는 18회로 13%, 운영일수는 64일로 23%를 차지하였다. 이러한 운영 횟수와 일수는 단순히 재해의 발생빈도뿐만 아니라, 기상특보의 발령에 따라 운영되는 중앙대책본부의 운영 특성상 얼마나 자주 특보가 발생하는지를 볼 수 있다. 특히 호우의 경우는 운영 일수의 비율보다 운영 횟수의 비율이 높게 나타났다. 기상청(2017)에서도 호우특보의 변경에 따라 동일한 강우가 발생했을 때 특보발령 횟수의 경우 주의보 16%, 경보 21%가 감소할 것으로 분석하여 중대본의 운영이나 지자체에서 비상대응 하는 횟수를 줄일 수 있을 것으로 기대했다(그림 2).

[그림 2] 호우특보 개선에 따른 특보발령횟수 증감



“조기경보시스템은
투자비용 대비
최소 10배의 인명/
재산 피해 저감이
가능”

III. 재난관리를 위한 호우특보의 개선방향

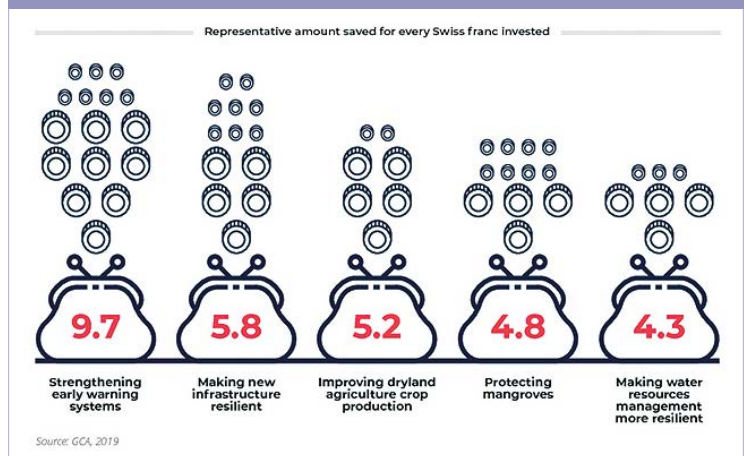
1. 호우예측의 중요성

강우의 예측과 호우특보는 정확하고, 정보의 전달이 신속할수록 그 효과는 매우 높다. 또한 이로 인한 사회·경제적 효과는 정량적으로 산정할 수는 없지만, 체감상으로 가장 크게 다가온다. 기상예보에 대한 요구는 국민들의 삶의 질 향상과도 매우 관련이 높다. 이전에는 농업과 같은 생계에 필요한 기상예보를 요구했다면, 최근에는 일반적인 생활에서부터 낚시, 캠핑 등 개인의 취미나 여가생활에 이르기까지 전문가가 아닌 일반 국민들조차 기상청뿐만 아니라 각종 기상정보 제공 사이트를 통해 기온, 강수, 바람에 대한 정보를 얻는다.

이러한 기상정보는 재난의 관점에서는 더욱 중요하다. 집중호우, 강풍, 폭설, 폭염, 한파 등의 재난현상으로 인해 재산피해뿐만 아니라, 막대한 인명피해가 발생할 수 있기 때문이다. 그리고 기상현상과 그로 인한 피해의 관계는 매우 뚜렷하며, 사회적으로 피해를 저감할 수 있는 시설이나 체계가 얼마나 잘 갖추어져 있는가에 따라 피해규모는 현저히 차이가 난다. 물론 기상현상으로 발생하는 피해를 줄이는데 가장 큰 영향을 미치는 것은 기반시설과 대응이라고 볼 수 있다. 그러나 그러한 기반시설을 갖추고 대응을 하기 위해 필수적으로 필요한 것은 기상예측이다.

Global Center on Adaptation and World Resources Institute에 따르면, 조기경보시스템은 투자비용 대비 최소 10배의 인명과 재산피해를 저감할 수 있으며, 24시간 경고만으로도 30%의 피해를 줄일 수 있다(그림 3)(IFRC, 2020). 그러나 이러한 조기경보시스템을 갖추기 위해서는 기상예측이 필수적이다. 특히

[그림 3] 조기경보시스템 투자대비 편익 비용(IFRC, 2020)



“조기경보시스템에서 가장 중요한 요소는 강우의 예측과 기준”

호우로 인한 피해가 자연재해의 대부분을 차지하는 우리나라의 경우 강우예측은 그 무엇보다 중요하다고 할 수 있다.

조기경보시스템에서 가장 중요한 것이 강우의 예측과 기준이다. 물론 호우특보만의 기준으로 조기경보시스템이 작동하는 것은 아니다. 그러나 현재 우리나라의 재난관리 체계에서 호우특보는 일반국민들에게 제공하는 가장 쉽고, 빠른 정보이며, 사실상 거의 유일한 정보이기도 하다. 또한 재난관리자들에게도 재난관리 업무에 있어서 1차적으로 중요하게 적용되는 기준이기도 하다.

2. 호우특보의 정확도

호우특보가 6시간/12시간에서 3시간/12시간으로 변경한다는 것은 앞에서 언급한 바와 같이 그만큼 짧은 시간에 대한 강우 예측기술의 발전이 있어야 한다. 1년의 데이터만으로 직접적인 비교는 어려울 수 있지만, 특보기준이 변경되기 전인 2017년과 변경된 직후인 2018년의 호우특보 발표현황과 관측강우데이터를 바탕으로 ROC(Relative Operating Characteristic)분석을 수행한 결과 적중률은 주의보 모두 약 99% 이상의 높은 결과를 나타냈으나, 경보에 대한 결측률은 30% 이상인 것으로 나타났다<표 3>.

〈표 3〉 호우특보 변경 전후 ROC분석 결과

구분		정확도	적중률	결측률	오측률
주의보	2017	50,641/51,100 (99.10%)	246/293 (83.96%)	47/293 (16.04%)	412/50,807 (0.81%)
	2018	54,192/54,750 (98.98%)	410/454 (90.31%)	44/454 (9.69%)	514/54,296 (0.95%)
	증감	0.12% ↓	6.35% ↓	6.35% ↓	0.14% ↓
경보	2017	51,029/51,100 (99.86%)	60/88 (68.18%)	28/88 (31.82%)	43/51,012 (0.08%)
	2018	54,567/54,750 (99.67%)	171/292 (58.56%)	121/292 (41.44%)	62/54,458 (0.11%)
	증감	0.19% ↓	9.62% ↓	9.62% ↓	0.03% ↓

※ 출처: 국립재난안전연구원(2019)

적중률은 호우특보가 발표되었을 때, 실제로 호우특보 발표기준 이상으로 비가 내렸는가에 대한 결과이며, 결측률은 호우특보 기준 이상의 강우가 내렸음에도 특

보가 발표되지 않은 경우이다. 오측률은 특보기준 이상의 강우가 내리지 않았음에도 호우특보가 발표된 경우이다. 따라서, 적중률은 높은 값일수록 좋으며, 결측률과 오측률은 낮은 값일수록 좋은 결과이다. 결측률이 높으면 재난관리입장에서 사전에 대비할 수 있는 골든타임을 놓칠 수 있기 때문에, 결측률이 높은 것은 매우 좋지 않은 결과이다. 오측률의 경우에는 실제 비가 내리지 않았기 때문에, 업무피로도가 증가할 수 있다. 따라서 재난관리 입장에서 호우특보의 적중률은 높아야 하며, 결측률은 가능하면 발생하지 않는 것이 가장 중요하다.

이러한 관점에서 2017년과 2018년의 호우경보 결측률 31.82%와 41.44%는 재난관리의 입장에서 골든타임을 확보할 수 있는 매우 중요한 정보를 얻지 못했다고 할 수 있다. 하지만 가장 최근인 2021년의 호우특보 ROC분석 수행 결과와 비교해보면 적중률은 증가하였으며, 결측률은 주의보 4.1%, 경보 12.1%로 현저히 감소하였다. 이는 호우예측의 정확도가 더욱 증가했다고 볼 수 있다(표 4).

“ 특보의 높은
결측률은
사전 대비를
어렵게하고,
높은 오측률은
업무 피로도를
증가시킴 ”

2. 호우특보의 발표횟수

기상청(2017)에서 제시한 호우특보의 발표횟수 감소효과를 분석하기 위해서 변경 직전인 2017년과 변경 직후인 2018년을 비교해 보았다. 먼저 특보 기준 이상의 강우 발생 횟수에서 주의보는 기존대비 평균 43회 감소하였으며, 경보는 기존대비 평균 8회 증가하였다(표 5).

〈표 4〉 2021년 호우특보의 ROC분석 결과

구분		정확도	적중률	결측률	오측률
주의보	2018	54,192/54,750 (98.98%)	410/454 (90.31%)	44/454 (9.69%)	514/54,296 (0.95%)
	2021	47,596/48,227 (98.69%)	284/296 (95.95%)	12/296 (4.05%)	619/47,931 (1.29%)
	증감	0.29% ↑	5.64% ↑	5.64% ↑	0.34% ↑
경보	2018	54,567/54,750 (99.67%)	171/292 (58.56%)	121/292 (41.44%)	62/54,458 (0.11%)
	2021	48,104/48,187 (99.83%)	51/58 (87.93%)	7/58 (12.07%)	76/48,129 (0.16%)
	증감	0.19% ↑	29.37% ↑	29.37% ↑	0.05% ↑

〈표 5〉 2017-2018 호우특보 기준 이상의 강우 발생 횟수

구분	주의보			경보			합계
	기존 (6시간)	변경 (3시간)	증감	기존 (6시간)	변경 (3시간)	증감	
2017	293.0	281.0	12 ↓	88.0	100.0	12 ↑	-
2018	528.0	454.0	74 ↓	288.0	292.0	4 ↑	70 ↓
평균	410.5	367.5	43 ↓	188	196.0	8 ↑	35 ↓

※ 출처: 국립재난안전연구원(2019)

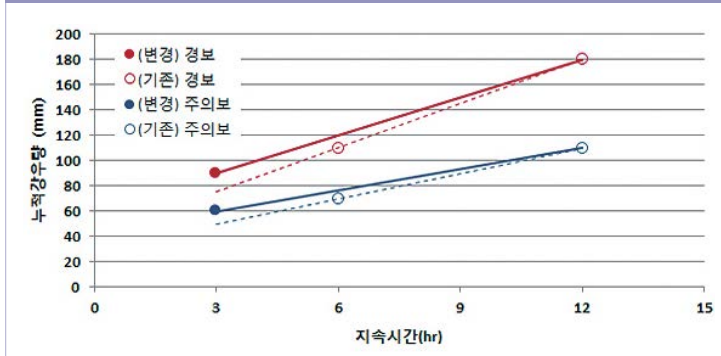
발표횟수는 특보발표 당시에 사용된 정량적 예측강우 값을 확보할 수 없어 앞서 분석한 ROC 분석 결과를 바탕으로 예측하였다. 그 결과 주의보는 기존대비 평균 59회 증가하였으며, 경보는 기존대비 평균 2회 증가하여, 기상청에서 분석한 주의보 16%, 경보 21% 감소와는 다소 상이한 결과를 나타내었다(표 6).

〈표 6〉 호우특보 발령 횟수 예측결과 비교

구분	주의보			경보			합계
	기존 (6시간)	변경 (3시간)	증감	기존 (6시간)	변경 (3시간)	증감	
2017	658	735	77 ↑	103	117	14 ↑	91 ↑
2018	883	924	41 ↑	242	233	9 ↓	32 ↓
평균	770	829	59 ↑	173	175	2 ↑	61 ↑

※ 출처: 국립재난안전연구원(2019)

〔그림 4〕 2017-2018 호우특보 기준 변경 전후 누적강우량 비교



물론 이러한 결과는 당해연도의 특보정확도를 바탕으로 예측한 결과이기 때문에 실제 당시에 해당기준을 적용하여 발표했을 때와는 결과가 다소 상이할 수는 있다. 그러나 실제 변경된 3시간 강우기준이 기존의 기준보다 상위구간에 위치하고 있기 때문에 기준강우가 하향조정되었다고 보기보단 ROC분석 결과와 같이 기준

시간이 짧아짐에 따른 강우예측 정확도로 인한 것으로 판단된다(그림 4).

“ 경험적 지식이
아닌 직관적
영향정보 제공으로
신속한 대처
가능할 것 ”

3. 호우특보의 개선방향

호우예측의 정확도 향상이나 호우특보 개선을 위한 기상청의 노력은 계속되어 왔다. 그럼에도 불구하고 일반 국민들의 인식이나 재난관련 담당자들은 더욱 더 높은 수준의 기상예측을 요구하고 있다. 앞서 분석한 호우특보의 정확도나 발표횟수의 증감은 기상청의 예보능력의 문제를 지적하고자 함이 아니라 호우특보 체계에 대한 문제점을 제시하고자 함이다. 강우예측은 확률론적이지만 겉으로 드러나는 것은 정량적인 결과이기 때문이다. 특히 일반 국민이나 재난관리 업무를 담당하는 입장에서는 확률보다는 최종적인 결과에 대해 중요하게 받아들이기 때문에 기상 예보와 특보의 결과에 민감하게 반응한다.

이러한 문제를 해결하기 위해서는 현재 기상청에서도 2018년부터 다부처 연구 과제로 「자연재해대응 영향예보생산 기술개발」을 추진하고 있으며, 이러한 연구성과의 실무도입이 조속히 이루어져야만 한다. 단순히 정량적인 기상예측 값을 제공하는 것에서 벗어나 기상현상으로 발생할 수 있는 영향에 대한 정보를 제공함으로써, 일반 국민들은 강우로 인해 체감할 수 있는 정보를 제공받을 수 있을 것이다. 영향예보는 어렵게 느껴지지만 사실 현재에도 영향예보의 개념에서 서비스가 이루어지고 있다. 하나의 예시로 생활기상정보와 같은 서비스이다. 현재는 자외선, 동파가능, 대기확산, 체감온도에 대해 서비스하고 있으나 이를 더욱 확장하면 다양한 분야에 적용이 가능할 것으로 보인다.

이러한 서비스는 일반 국민들에게 직관적으로 정보를 전달할 수 있을뿐만 아니라, 재난관리의 입장에서 단순히 강우정보를 바탕으로 과거의 사례와 비교하거나 경험적 지식이 아닌 직관적인 영향정보를 파악하고, 신속하게 대처할 수 있을 것으로 기대된다. 다만 전문가들이 분석할 수 있는 정량적인 강우 예측값의 제공은 별도로 계속해서 이루어져야만 할 것이다.

이를 위해서는 세부적인 기준의 마련이 필요하다. 각 지역의 도시방재 능력이나, 시설물, 인구밀도 등 다양한 사회적 환경에 따라 피해가 발생할 수 있는 강우량이 다르고, 피해에 따른 영향이 다를 수 있다. 따라서, 현재와 같은 전국 공통의 기준

이 아니라 지역별로 세분화된 기준을 마련하여 영향예보가 시행되어야만 한다.

우리나라의 기상관측장비와 정보, 기상예측 기술은 해외 다른 그 어떤 나라와 견주어도 결코 뒤처지지 않는다. 그러나 영향예보는 기상청의 정보만으로는 해결할 수 없다. 향후 지속적이고, 더욱 발전된 정보의 생산 및 서비스 제공을 위해서는 행정안전부, 환경부 등 다양한 정부부처와 협업하여 필요한 정보를 공유하고 함께 노력하여야 할 것이다.

참고문헌

국립재난안전연구원, 2019: 딥러닝 기반 도시침수 위험기준 추정 기술 개발.

국립재난안전연구원, 2021: 도시침수 위험기준 추정 모델 개선 및 적용.

기상청, 2017: 시간당 강우강도를 고려한 호우특보 발표기준 개선방안 연구.

기상청, 2021: 2020년 이상기후 보고서.

International Federal of Red Cross and Red Crescent Societies, 2020: World Disaster Report 2020.

도시 기후변화 재해취약성분석 제도의 이해와 기상분야 과제¹⁾

권용석 대구경북연구원 연구위원 kwony@dgi.re.kr

I. 서론

II. 도시 기후변화 재해취약성분석제도 이해

III. 도시 기후변화 재해취약성분석의 지표 특성

IV. 재취분에서의 기상/기후학적 예측의 영역

V. 기후위기에 안전한 도시를 위한 기상/기후분야 과제

도시 기후변화 재해취약성분석 제도의 대상이 되는 재해 현상은 폭우, 폭염, 폭설, 강풍, 가뭄, 해수면 상승이다. 이들의 취약성을 평가하기 위해 분석 대상 재해들에 대해 IPCC AR4를 준용하여 '기후노출'과 '도시민감도'구성요소로 구분한 체계로 구성하고, 이는 다시 현재와 미래라는 두 시점의 취약성으로 세분화되었다. 현재 시점의 도시민감도는 영역적 의미의 취약지역과 개별 사람과 시설 단위의 취약정도를 평가하고, 미래 취약성은 기후변화 시나리오에 의한 기후노출과 도시개발 전망을 반영한 도시민감도를 담아낸다. 이때, 미래형 지표에 사용되는 남한 상세 기후전망자료의 1km 공간해상도는 재해취약성분석이 적용되는 도시계획 분야에서 도시공간 내 구체적인 계획내용을 담아내기에는 공간적인 차별성이 드러나지 않아 실효성을 보장하기 어렵다. 기후변화에 대응하는 사전예방형 도시관리를 위해서는 최소 100m 해상도의 상세 기후전망이 필요하므로, 기상·기후 전문가들의 많은 연구와 투자가 요구된다. ■

1) 본 연구는 국토교통과학기술진흥원 국토교통지역혁신기술개발 사업의 지원을 받아 수행하였음(21RITD-C161506-01).

“ 기후변화에 대비한
예방형
도시계획으로
'재취분'이
운영 중 ”

I. 서론

기후변화로 인한 기후위기에 대한 대처는 이제는 비단 우리사회 특정 분야에 국한되지 않고 동시다발적이고 교차적으로 이루어지고 있다. 도시분야에서는 기후변화에 대비한 사전예방형 도시계획이라는 취지 하에 '기후변화영향평가'라 불릴 만한 '도시 기후변화 재해취약성분석 제도(이하 재취분)'가 운영 중에 있다.

재취분은 2011년 우면산 산사태를 계기로 법적 근거를 갖추게 되었다. 이 제도는 기후변화와 밀접한 6대 자연재해(폭염, 폭우, 폭설, 가뭄, 강풍, 해수면 상승)를 취약성 평가의 대상으로 삼고, 각종 개발행위 또는 계획활동에 대해 그 각각이 미칠 영향을 사전에 살펴 봄으로써 재해 발생으로 인해 우려되는 부정적 요소를 최소화하기 위한 대안을 모색한다. 이처럼 '기후변화영향평가'로 불릴 만한 재취분의 법적 근거는 「국토의계획및이용에관한법률」로서 도시계획의 수단과 연계되어 영향평가 기능이 수행된다. 도시의 미래 발전방향을 제시하는 청사진 격인 도시기본계획 및 이를 실행하는 수단인 도시관리계획을 수립할 경우 기초조사의 일환으로 재취분을 실시한다. 재취분 결과는 수립 중인 계획에 반영하여 미연에 대형 기상재해 발생을 예방하는 방안을 모색하는 데 활용된다.

미래의 기상재해 발생 가능성 및 그 충격에 대한 민감도를 판단하기 위해 재취분에서는 여러 지표를 활용하고 있다. 예를 들면 폭염의 경우, 폭염발생일수, 열대야발생일수, 노후건축물 비율 등이 해당 지역의 폭염재해취약성을 판단하기 위한 평가 지표로 투입된다. 폭염 관련 물리적 요소 외에도 해당 기상현상에 대한 예측값들이 재취분 결과의 품질을 결정하는 데 매우 중요한 역할을 한다.

이 글에서는 재취분 제도를 소개하고 재취분 제도 상의 중요 구성요소인 평가지표를 중심으로 재취분 제도의 온전한 기능수행을 위해 필요한 기상분야의 역할에 대해 언급하고자 한다.

“ 재해취약성분석은
2016년 이행절차,
평가대상, 적용
범위 등 행정
절차 관련한
체계 갖춰짐 ”

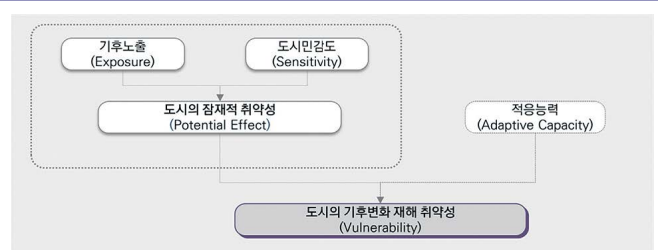
II. 도시 기후변화 재해취약성분석 제도 이해

한반도 내 기후변화에 따른 크고 작은 이상기후가 발생하던 차 2011년에 발생한 우면산 산사태와 강남 침수피해는 우리 사회의 안전성에 대한 근본적 회의를 불러 일으켰다. 그 후 우리의 삶터인 도시를 재해에 안전하게 보호하기 위한 제도적 장치가 불가피하다는 정부의 판단하에 2011년 12월 국토교통부를 중심으로 재취분을 전격 도입하였다. 국토교통부는 새로이 도입된 제도가 체계적으로 작동하기 위한 환경을 조성하기 위해 도시계획(광역도시계획, 도시·군기본계획, 도시·군관리계획 등) 관련 지침을 개정하여 각종 도시계획 수립 시 재취분 시행을 권고하고 그 결과를 계획 내에 반영토록 조치하였다.

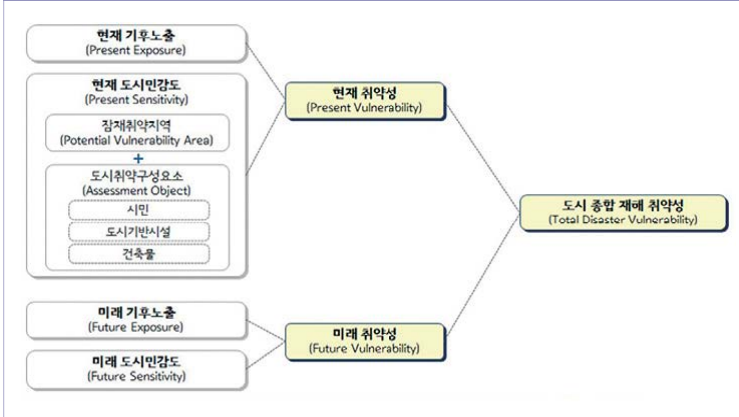
법적 근거가 마련된 이후 분석체계 정립, 대상재해 선정, 분석방법, 적용 지표 등 제도가 작동하기 위한 요소별 연구가 진행됐다. 2013년에는 재해취약성분석 매뉴얼이 제작되었고, 2014-2015년 동안 시범적으로 제도 운용이 이루어졌다. 시범운영 기간 동안 재취분은 지침의 상위규정인 「국토의계획및이용에관한법률(제20조, 제27조)」로 명문화되면서 권고가 아닌 의무사항으로 제도적 위상이 높아졌다. 동시에 법규의 규정을 실무적으로 보완하기 위한 지침이 2016년 마련되면서 재취분 이행절차, 평가대상 및 적용 범위 등 행정절차와 관련한 나름의 모양새를 갖췄다.

이상의 제도화 과정 속에서 재취분은 기능적으로 기상재해에 대한 영향평가의 성격을 갖추게 되었다. 분석 대상 재해는 기후변화와 밀접한 자연재해인 폭우, 폭염, 폭설, 강풍, 가뭄, 해수면 상승으로 6가지 현상을 포함한다. 그리고 분석 대상 재해에 대해 IPCC AR4(Intergovernmental Panel on Climate Change's Fourth Assessment Report)를 준용하여 '기후노출'과 '도시민감도'구성요소를 통해 도시 잠재 취약성 평가체계의 틀이 구성되었다(그림 1).

[그림 1] IPCC AR4를 준용한 도시 잠재 취약성 평가체계(자료: 한우석 2021)



[그림 2] 도시 기후변화 재해취약성분석 체계 총괄(자료: 한우석 2021)



[그림 1]은 현재와 미래라는 두 시점의 취약성으로 세분화된다. 현재 시점의 도시민감도는 영역적 의미의 취약지역과 개별 사람과 시설 단위의 취약정도를 평가한다. 미래 취약성은 기후변화 시나리오에 의한 기후노출과 도시개발 전망을 반영한 도시민감도를 담아낸다[그림 2].

취약성 평가시 공간 단위는 인구센서

[그림 3] 재취분의 기본 공간 단위인 집계구 예시



스 단위인 집계구²⁾를 적용하며, 재해별 특성을 고려한 지표를 적용하여 취약성을 평가한다. 재취분 공간단위인 집계구의 크기는 일정하지 않고 인구밀집 정도에 따라 크기가 상이하다. 도심지역의 경우는 아파트 한 개 동 정도인 반면, 농촌지역은 여러 마을이 모여 하나의 집계구를 구성하기도 한다[그림 3].

III. 도시 기후변화 재해취약성분석의 지표 특성

도시 기후변화 재해취약성분석은 6개 재해별로 다양한 평가지표가 사용된다. 평가지표는 재해특성을 반영하여 현재 기후노출, 현재 도시민감도, 미래 기후노출, 미래 도시민감도 별로 고유 지표를 적용하고 있다. ‘현재 기후노출’을 예로 들면, 폭우는 강수일수 및 최대강수량, 폭염은 폭염일수와 열대야일수, 폭설은 최고적설량 및 평균 적설량, 기준 이상 적설일수, 가뭄은 일최고기온, 최대 무강수지속일수, 강풍은 기준 이상 일최대풍속일수 및 기준 이상 순간풍속일수, 해수면 상승은 조위상승률 및 해수온 상승률을 활용하여 평가한다<표 1>.

2) 집계구란 기초단위를 결합시켜 만든 구역으로 기초단위구에 통계적 특성인 동질성, 동량성을 부가하여 확정된 근린지역 통계서비스 구역(『통계청 통계자료제공 규정』 제2조)(이주원, 2018)

“ 재취분은 6개
재해별로 다양한
평가지표가
사용됨 ”

한편, 재해특성상 부가적인 평가지표가 있는가 하면 제외되는 경우도 존재한다. 일례로 유일하게 폭우에 대해서는 수도공급시설이 평가지표로 적용되는 반면, 공항은 다른 재해에서는 평가지표이지만 폭우에서는 제외되어 있다<표 2>.

현재(기후노출 및 도시민감도)에 대한 평가지표가 과거 10년 간의 추세를 토대로 평가되는 반면, 미래 평가지표는 시점상 미래와 현재가 혼재되어 있다. 그 이유는 제시된 지표의 예측 불가능성에서 비롯된다. <표 3>과 같이 미래 도시민감도

〈표 1〉 현재 기후노출 분석지표

폭우	폭염	폭설	가뭄	강풍	해수면상승
연평균 80mm 이상 강수일수 연평균 시간 최대강수량	연평균 일 최고기온 33℃ 이상 일수 연평균 열대야 (일최저기온 25℃이상 일수	연평균 최고 적설량 연평균 적설량 연평균 5cm 이상 적설일수	연평균 일최고기온 연평균 최대 무강수지속일수	연평균 일 최대풍속 14%이상 일수 연평균 순간 풍속 20% 이상 일수	연평균 조위상승률 연평균 해수온상승률

자료: 「도시 기후변화 재해취약성분석 및 활용에 관한 지침」 일부 발췌

는 향후 어떻게 도시가 바뀔지에 대한 예측이 사실상 불가하기 때문에, 현 시점에서 의 계획적 가정과 추정을 지표로 차용하고 있다.

〈표 2〉 현재 도시민감도 분석지표 예시

구분		폭우	폭염	폭설	가뭄	강풍	해수면상승
도시기반 시설 (일부)	도로	집계구 내 도시 지하도로	집계구 내 도로	집계구 내 도로 고가도로 및 칩 체 교차로	-	-	집계구 내 도로
	철도	집계구 내 철도	-	집계구 내 철도	-	-	-
	항만	-	-	-	-	집계구 내 항만	집계구 내 항만
	공항	-	-	집계구 내 공항	-	집계구 내 공항	-
	수도공급설비	집계구 내 수도공급설비	-	-	-	-	-
	전기공급시설	집계구 내 전기공급설비	-	-	-	-	-
	(이하 생략)						

자료: 「도시 기후변화 재해취약성분석 및 활용에 관한 지침」 일부 발췌

IV. 재취분에서의 기상·기후학적 예측 영역

재취분은 전술한 것처럼 미래형 지표는 물론 현재형 지표조차도 현실적 한계로 인해 과거부터 현재까지의 변화와 현재 시점의 상황을 기본적으로 반영한다. 미래

〈표 3〉 미래 취약성 분석지표

구분	폭우	폭염	폭설	가뭄	강풍	해수면상승
미래 기후노출	• 연평균 8mm/일 이상 강수일수	• 연평균 일 최고기온 33℃ 이상 일수 • 연평균 열대야(일최저기온 25℃ 이상) 일수	• 연평균 적설량	• 연평균 일최고기온 • 연평균 최대 무강수 지속일수	• 연평균 일 최대 풍속 14% 이상 일수	• 연평균 해수온상승률
미래 도시민감도	• 최근 10년간 시가화지역 • 최근 10년간 인구증가수 • 개발사업진행·예정지구					

자료: 「도시 기후변화 재해취약성분석 및 활용에 관한 지침」 일부 발췌

도시민감도를 대표하는 지표인 최근 10년간 시가화지역, 최근 10년간 인구증가수, 개발사업 예정지구 분석지표가 그것을 증명한다.

한편, 인구 변화, 도시 확장과 같이 과거 추세로 미래를 대체하는 지표가 있는가 하면, 〈표 4〉와 같이 기후예측모델을 활용하여 강우, 기온 등 기상요소들의 미래 예측값을 지표로 활용하기도 한다. 예를 들면, 폭염 재해의 경우 미래 기후노출에 대한 취약성을 평가하기 위해 ‘미래 연평균 일 최고 기온 33℃’를 적용한다. 이 지표는 기후변화정보센터의 남한상세자료 중 RCP 8.5, 제어적분 200년, 일평균 자료를 가

〈표 4〉 기상·기후학적 예측을 전제로 한 재취분 지표

지표	조사방법
미래 연평균 80mm/일 이상 일수	기후변화정보센터의 남한상세자료, RCP8.5, 제어적분 200년, 일평균 자료를 가공하여 80mm/일 이상 일수의 30년 평균 자료구축
미래 연평균 일 최고 기온 33℃	기후변화정보센터의 남한상세자료, RCP8.5, 제어적분 200년, 일평균 자료를 가공하여 일 최고 기온 33℃ 이상 일수의 30년 평균 자료구축
미래 연평균 열대야 일수	기후변화정보센터의 남한상세자료, RCP8.5, 제어적분 200년, 일평균 자료를 가공하여 일 최저기온 25℃ 이상 일수의 30년 평균 자료 구축
미래 연평균 적설량	기후변화정보센터의 행정구역별자료, RCP8.5, 제어적분 200년, 73개지점 일별자료를 가공하여 30년 적설량의 평균 자료 구축
미래 연평균 일 최고기온	기후변화정보센터의 남한상세자료, RCP8.5, 제어적분 200년, 일평균 자료를 가공하여 일 최고 기온의 30년 평균 자료 구축
미래 연평균 일 최대 풍속 14% 이상 일수	기후변화정보센터의 행정구역별자료, RCP8.5, 제어적분 200년, 73개지점 일별자료를 가공하여 일 최대풍속 14% 이상 일수의 30년 평균 자료 구축
미래 연평균 해수온 상승률	국립해양조사원에서 작성하여 해양수산부를 통해 지자체에 제공된 데이터 중 미래 연평균 해수온 상승률 데이터 추출 후 구축

자료: 「도시 기후변화 재해취약성분석 및 활용에 관한 지침」 별표3 중 일부 발췌

공하여 일최고기온 33℃ 이상 일수의 30년 평균값을 계산한 것이다.

미래형 지표에 사용되는 남한 상세 기후전망자료의 공간해상도는 1km이다. 이는 12.5km 공간해상도인 HadGEM3-RA를 통계적으로 상세화한 결과값이다. [그림 4]와 같이 1 km 고해상도 남한 상세 기

후전망은 135km 해상도의 HadGEM2-AO 전지구 전망모델로부터 12.5km 해상도

“ 현재
기후전망자료의
해상도는 도시계획
입장에서는
부족 ”

의 지역 기후모델로 역학적 상세화를 거친 후 가공된다.

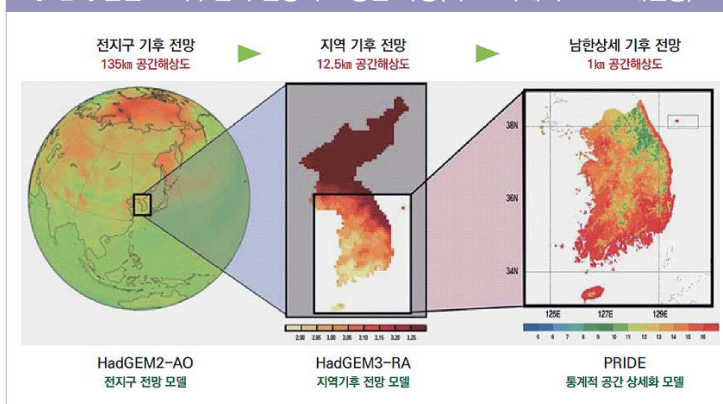
한편, 1km 단위 예측은 기상분야에서는 매우 고해상도지만 재취분이 적용되는 도시계획 분야에서 도시공간 내 구체적인 계획내용을 담아내기에는 매우 큰 공간 단위다. 일례로 대구시 중구는 광역시의 중심지로서 고밀도의 개발을 통해 좁은 공간단위에서 다양한 개발행위가 이루어진다. 이러한 중심지의 행정면적은 7km² 남짓하여 남한 상세기후전망 자료로는 픽셀 7개 정도에 불과하다. 따라서 이 자료를 활용하여 도시공간 스케일의 재해취약성을 평가하기에는 공간적인 차별성이 드러나지 않아 실효성에 대한 의문이 제기된다.

V. 기후위기에 안전한 도시를 위한 기상·기후분야 과제

이상 살펴본 바와 같이 ‘도시 기후변화 재해취약성분석 제도’는 각종 도시개발 행위에 앞서 도시의 재해취약성 정도를 파악하여 그 피해를 사전예방하기 위한 목적으로 도입되었다. 기후변화에 따른 재해취약성을 평가하기 위해서는 기후적 요소의 변화를 포함하는 ‘기후노출’과 변화한 환경에 영향을 받는 요소를 포함하는 ‘도시민감도’의 두 가지 측면이 고려된다. 그리고 시점에 있어서는 현재와 미래 측면의 취약성으로 구분된다.

이를 조합시킨 ‘미래 기후노출’, 즉 미래 시점의 변화하는 기후적 요소에 대한 평가는 다분히 기상분야의 역할에 따라 그 성과가 달라진다. 현재의 기후전망자료는 1km 해상도의 자료가 제공되고 있다. 그런데 기상분야에서는 이정도 해상도가 매우 상세한 결과일 수 있지만, 미래 도시를 안전하게 관리해야하는 도시계획 입장에서 현재 기상분야가 제공하는 기후전망자료의 해상도로는 부족하다.

[그림 4] 한반도 기후변화 전망자료 생산 과정(자료: 박세택 2016 재인용)



“ 도시계획 분야의
재취분은 기상분야
도움이 절대적 ”

최근 연구들은 상세정보의 부족함을 만회하고자 더욱 세밀한 공간단위로 기후전망자료를 세분화하는 기법들(IDW, Kriging, Natural Neighbor, Spline, Triangulated Irregular Network, Co-kriging, PRISM 등)을 탐구하여 그 결과들을 발표하고 있다(양호진 외 2019). 기존 연구에서 제시한 상세정도는 대체적으로 1km 정도이다. 하지만 기후변화에 대응하는 사전예방형 도시관리를 위해서는 최소 100m 해상도의 상세 기후전망이 필요하다. 기상·기후 전문가들의 많은 연구와 성취가 필요한 시점이다.

‘도시 기후변화 재해취약성분석 제도’는 비록 도시계획 분야에서 창안하여 도입한 제도지만, 세부 내용에서 기상분야의 도움없이 온전히 작동할 수 없다. 달리 얘기하면 기후변화에 대한 기상학적 연구성과가 바로 우리 실생활에서 반영될 수 있는 매우 의미 있는 ‘동반자’가 아닌가 싶다. 왜냐하면 ‘향후 우리 동네는 얼마나 더 더워질까’, ‘우리 지역엔 얼마나 많은 비가 내릴까’란 상식적인 질문에 대한 답을 찾는 과정은 곧 ‘우리 동네를 어떻게 하면 더 시원하게 만들까’, ‘더 잦아지는 폭우에서 우리지역을 어떻게 안전하게 만들까’란 해답을 찾는 과정으로 이어질 것이기 때문이다.

참고문헌

- 국립기상과학원, 2018: 한반도 기후변화 전망분석서.
- 기상청, 2020: 한반도 기후변화전망서 2020.
- 박세택, 2018: 기후변화 시나리오를 이용한 특화 농작물의 지리적 변화와 농업정책 지원에 관한 연구.
- 양호진·이재연·채여라·박종철, 2019: 동네예보 여름철 기온 자료의 상세화를 위한 통계적 내삽 방법의 비교. 한국사진지리학회지 29(4): 19-32.
- 이주원, 2018: “통계지리정보서비스(SGIS) 우와! 우리동네가 한눈에 쏘옥, 쏘옥, 쏘옥”. 통계의 창 겨울호.
- 한우석, 2021.10.: 도시 기후변화 재해취약성분석제도의 개선방향 연구. 국토도시계획학회 추계학술대회.
- 국토교통부, 2015: 『도시 기후변화 재해취약성분석 및 활용에 관한 지침』(국토교통부훈령 제852호, 2017. 5. 26., 일부개정)
- 통계청, 2014: 『통계청 통계자료제공 규정』 제2조 (통계청훈령 제345호, 2014. 3. 26., 일부개정)

변화하는 기후에 달라지는 태풍: 시사점과 대응방안

문일주 제주대학교 태풍연구센터 교수·센터장 ijmoon@jejunu.ac.kr

- I. 서론
- II. 전 지구적인 태풍 특성 변화 및 그 영향
- III. 한반도 접근 태풍의 강도와 빈도 변화
- IV. 온난화 환경에서 미래 한반도 태풍 전망
- IV. 시사점 및 예특보시 고려사항

기후변화와 함께 전 지구적으로 강한 강도의 태풍이 더 강해지고 있고, 태풍의 발생빈도는 감소하고 있다. 태풍의 발생, 이동경로, 그리고 생애 최대강도의 위치는 극쪽으로 이동하고 있으며, 이동속도는 일부 지역에서 느려지는 경향이 관측되고 있다. 한반도에 접근하는 태풍의 연간 최대강도는 41년간(1980-2020) 평균적으로 약 31% 증가하였다. 우리나라에 가장 큰 피해를 입혔던 2002년 태풍 루사와 2003년 태풍 매미에 대해 미래 온난화 환경에서 발생 가능한 최대강도를 추정하였다. 이러한 결과들은 태풍 예·특보시에 기후변화를 얼마나 고려하는 것이 적절한 지에 대한 판단 근거를 제시한다. ■



I. 서론

태풍은 가장 파괴적인 자연재해를 유발하는 기상현상이다. 1970년 방글라데시에서는 사이클론 볼라(Bhola)에 의해 약 30만 명의 사망자가 발생하였고, 21세기에 들어서도 2008년 사이클론 나르기스(Nargis)로 인해 미얀마에서 138,373명의 사망자가 발생하였다. 태풍은 인명피해뿐만 아니라, 천문학적인 재산피해를 유발한다. 2005년 허리케인 카트리나(Katrina)와 2017년 허리케인 하비(Harvey)는 미국에 각각 약 1,250억 달러(150조 원)의 재산피해를 입혔다(Wikipedia, 2022a,b).

인류는 이렇게 치명적인 인명 및 재산피해를 유발하는 태풍을 대비하기 위한 많은 노력을 기울여 왔지만 태풍피해는 전 세계적으로 감소하지 않고 있다. 태풍을 예측하고 대비하기 위한 기술의 발전에도 불구하고 태풍 피해가 감소하지 않은 이유는 태풍에 취약한 해안가로의 인구이동과 연안개발 그리고 기후변화로 인한 태풍활동의 변화 등이 그 원인으로 여겨진다. 특히, 기후변화로 인한 태풍의 특성(강도 및 빈도)이 어떻게 변화하고, 이것이 인류에게 어떤 영향을 미칠 것인가에 대한 주제는 태풍 방재 측면뿐 아니라 일반인에게도 관심을 끄는 주제이다(Knutson et al., 2019, 2020).

본 연구에서는 관측자료를 기반으로 전 지구적 그리고 한반도에 접근하는 태풍의 특성이 어떻게 변화하고 있는지 조사하였다. 이를 위해 태풍의 강도, 발생빈도, 이동경로, 이동속도에 대해 태풍 관측이 시작된 1980년 초반 이후 인공위성 자료를 주로 사용한 신뢰도가 높은 연구를 선별하였다. 수치모델을 이용한 연구에서는 한반도에 큰 영향을 미친 두 태풍(2002년 루사, 2003년 매미)에 대해 100년 후 온난화 환경에서의 강도변화를 조사하였다. 또한 이러한 연구결과들의 시사점과 위험기상 예·특보시 고려사항에 대해 논하고자 한다.

II. 전 지구적인 태풍 특성 변화 및 그 영향

기후변화로 인한 태풍의 특성 변화 중 가장 관심을 끄는 주제는 태풍의 강도 변화이다. 과학자들은 1980년 초반부터 전 지구적으로 강한 강도(초속 33m/s 이상)의 태풍 강도가 강해

지는 경향이 있음을 발견하였다(Kossin et al., 2013; Sobel et al., 2016; Kang and Elsner, 2016; Knutson et al., 2019). 특히, 북대서양 허리케인 강도(특히, 태풍 생애최대강도)의 증가가 가장 뚜렷이 나타난다(Kossin et al., 2013). 북서태평양에서는 상륙 태풍의 강도가 최근 37년간 12-15% 증가한 것으로 보고되었다(Mei and Xie, 2016). 이러한 전 지구적인 태풍의 강도 증가의 일정 부분은 지구온난화의 영향으로 추론되고 있다(Kossin et al., 2013; Sobel et al., 2016). 전 지구적으로 태풍의 강도는 증가하고 있지만, 발생 빈도는 오히려 감소하는 경향이 보인다. 이러한 감소 경향은 아직은 통계적으로 유의하지는 않지만, 지구온난화가 더욱 진행되면 유의하게 감소할 것으로 전망되고 있다(Murakami et al., 2012). 태풍 발생 빈도의 감소는 태풍이 가장 많이 발생하는 열대해역(특히 북서태평양 열대해역)에서 대기 상층 온난화로 인한 대기 안정화가 한 가지 중요한 원인으로 지목되고 있다(Sharmila and Walsh, 2018).

기후변화로 나타나는 태풍의 특성 변화 중 하나는 태풍의 일생 동안 최대강도를 가지는 위치가 점점 극쪽으로 이동하는 현상이다(Kossin et al., 2014). 이 현상은 해역별, 기간별, 강도별로 그 경향성, 크기, 그리고 원인에 차이가 있지만(Moon et al., 2015, 2016), 기후학적으로 태풍의 위험성이 상대적으로 적었던 중위도 지역에서 태풍 노출(exposure)과 위험성이 증가될 수 있다는 점에서 시사하는 바가 크다(Kossin and Camargo, 2016). 태풍 최대강도 위치의 북상 현상은 북서태평양에서 가장 뚜렷이 관찰된다. Daloz and Camargo(2018)은 이러한 경향성이 북서태평양 태풍의 발생 위도가 극쪽으로 이동한 것과 관련이 깊음을 보였다. Park et al. (2014)는 최대강도를 기록하는 위치가 동아시아 쪽으로 더 접근하고 있고, 이로 인해 한국, 중국, 일본에 상륙하는 태풍의 강도가 증가하고 있음을 보고하였다(한반도 접근 태풍의 강도 변화에 대해서는 다음 장에서 상세히 다룸).

또 한 가지 전 지구적으로 나타나는 현상은 태풍의 이동속도 변화이다. Kossin(2018)은 태풍의 이동속도가 1949-2016년 사이에 전 세계적으로 10% 감소했음을 보여주었고, 이것은 지구온난화로 인해 대기순환이 느려진 것과 관련이 있음을 주장하였다. 그러나 1970년 대 이전에 발견된 태풍 이동속도 감소 추세의 상당 부분은 위성 자료의 품질 문제와 태풍 탐지 기술의 시간적 변화 때문에 자료 자체가 인위적으로 변형되고 비균질하게 된 것과 관련이 깊다

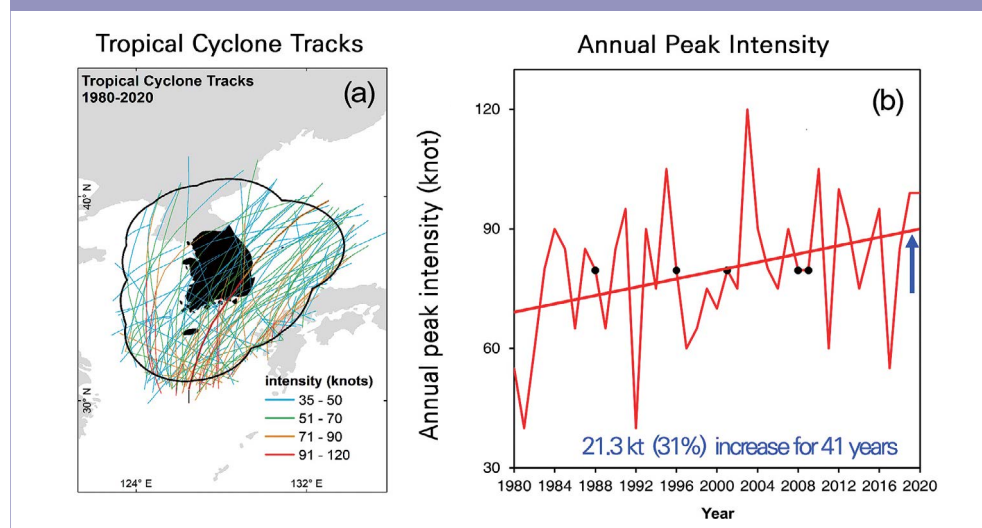


(Moon et al. 2019; Lanzante, 2019; Chan, 2019). 기후모델을 이용하여 태풍 이동속도를 전망한 연구에서는 태풍이 미래에 국지적으로(특히 중고위도에서) 현재보다 더 느려질 것으로 대부분 예측하고 있다. 다만, 전 지구적인 평균값의 측면에서는 태풍의 진로가 평균 이동속가 빠른 극쪽으로 더 이동하는 현상 때문에 더 빨라질 것으로 예상된다. 방재측면에서 태풍의 이동속도가 국지적으로 느려지게 되면, 미국에 큰 피해를 입힌 2017년 허리케인 하비와 같이 정체하는 태풍이 자주 출현하게 되고 이로 인한 기록적인 홍수피해가 발생할 수 있다.

III. 한반도 접근 태풍의 강도와 빈도 변화

태풍의 특성과 그 변화 경향은 지역적으로 각각 다르기 때문에(Moon et al., 2022), 전 지구적인 태풍의 특성 변화를 그대로 한반도에 적용하기 어렵다. 따라서 한반도 영향 태풍(기상청에서 기상특보를 기반으로 정의)과 그 분포가 유사하지만 좀 더 객관적인 자료인 한반도 접근 태풍(한반도를 250km 이내로 통과한 태풍)에 대해 강도와 빈도 변화를 조사하였다. 먼저, 한반도에 접근한 태풍의 강도 변화를 살펴보면, 한반도에 접근하는 태풍의 연간 최대강도(peak intensity)가 지난 41년간(1980-2020) 평균 약 31% 증가한 것으로 나타났다[그

[그림 1] 1980-2020년 기간 동안 한반도 접근 태풍의 경로(a) 및 태풍의 연간 최대강도(최대풍속) 변화 경향(b). 한반도 접근 태풍은 한반도 육지로부터 250km 반경 내에 접근한 태풍으로 정의함.

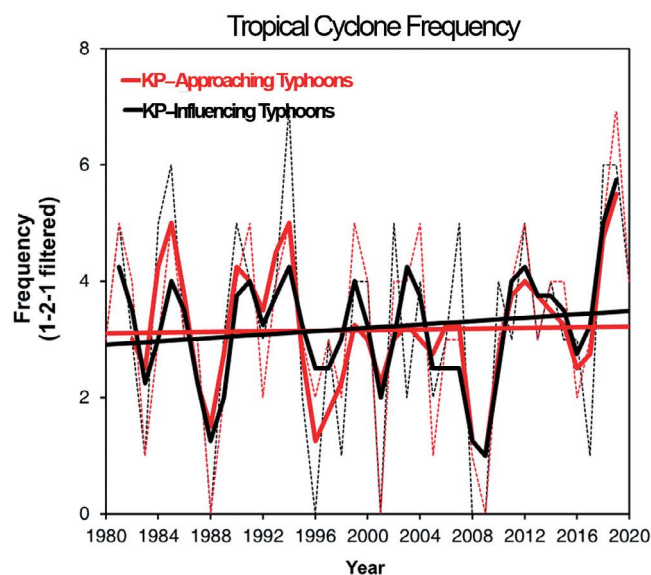


림 1]. 이러한 증가 경향은 앞서 전 지구적으로 강한 강도의 태풍이 더 강해지고 있다는 사실과 일치한다(Elsner, 2008). 한반도에 접근하는 태풍의 강도 증가는 태풍방재 측면뿐만 아니라 해안가에 위치한 원자력 발전소를 포함하여 주요 시설물의 설계값 추정 등에도 큰 영향을 미칠 것이다(이 문제는 추후 5장에서 상세히 다룸).

태풍의 강도 변화와는 달리 한반도에 접근하는(또는 영향을 미친) 태풍의 수는 지난 41년간 통계적으로 유의한 변동이 나타나지 않았다(그림 2). 그러나 가을 태풍이라고 불리는 9-10월 태풍에 대해서만 따로 분석해보면, 우리나라를 포함한 동아시아 지역으로 향하는 태풍의 수가 유의하게 증가하였다(41년간 2.6

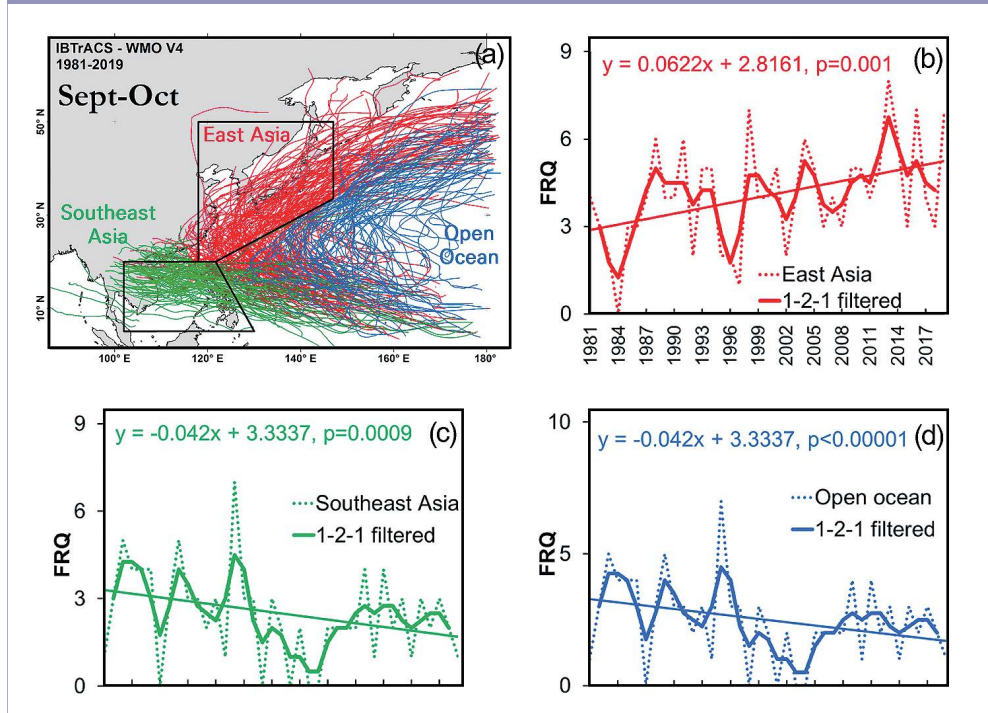
개 증가; 그림 3b 참고). 특이한 것은 가을철에 동아시아 지역을 지나는 태풍의 수가 증가하는 동안 동남아시아(그림 3c)를 지나는 태풍과 외해(Open Ocean)를 지나는 태풍의 수는 유의하게 감소하였다는 사실이다(Basconcillo and Moon, 2022)(그림 3d). 동아시아를 지나는 태풍의 개수가 증가한 것은 태평양 순년진동(Pacific Decadal Oscillation, PDO)이 1990년 중반에 음의 위상으로 바뀌면서 북태평양고기압이 서쪽으로 확장한 것과 관련이 깊다. 분석 결과, 북태평양고기압이 서쪽으로 확산하게 되면, 일본 동쪽 외해로 진행하는 태풍은 동아시아 쪽으로 편향되고, 그 결과 외해를 통과하는 태풍의 수는 감소하고 동아시아로 진출하는 태풍의 수는 증가하는 것으로 나타났다. 우리나라에 큰 피해를 입힌 2002년 루사, 2003년 매미, 2016년 차바, 2019년 링링, 2020년 하이선 등은 모두 9월에 한반도를 내습하였다. 한반도 근처로 접근하는 가을 태풍의 증가 경향은 우리나라 태풍 재해의 발생 빈도 및 강도를 증가시키는 원인이 될 수 있다.

[그림 2] 1980~2020년 기간 동안 한반도 접근(빨강색) 및 영향(검정색) 태풍의 개수 변화. 한반도 접근 태풍은 한반도 육지로부터 250km 반경 내에 접근한 태풍으로 정의하고, 한반도 영향 태풍은 기상청의 정의를 따름. 실선은 1-2-1 필터를 사용하여 스무딩(smoothing)한 결과와 선형회귀선을 나타냄.





[그림 3] 1981-2019년 기간 동안 가을철(9-10월)에 북서태평양에서 발생한 태풍의 이동경로(a) 및 동아시아(b), 동남아시아(c), 그리고 외해(d)를 통과한 태풍의 연간 개수의 변화. 실선은 1-2-1 필터를 사용하여 스무딩한 결과와 선형회귀선을 나타냄(Basconcillo and Moon, 2022).



IV. 온난화 환경에서 미래 한반도 태풍 전망

미래에 지구온난화가 계속 진행되어 한반도 주변 해역의 해수면 온도가 지속적으로 상승하게 된다면, 한반도에 접근하는 태풍의 강도는 얼마나 더 강해질까? 이러한 질문에 대한 해답을 찾는다면 연안의 방파제 건설, 해상 풍력터빈 설계, 원자력 발전소 안전진단 등과 같은 다양한 분야에서 기후변화를 고려한 풍속, 해수면, 파고 등의 설계값 추산에 기초적인 자료를 제공할 수 있을 것이다.

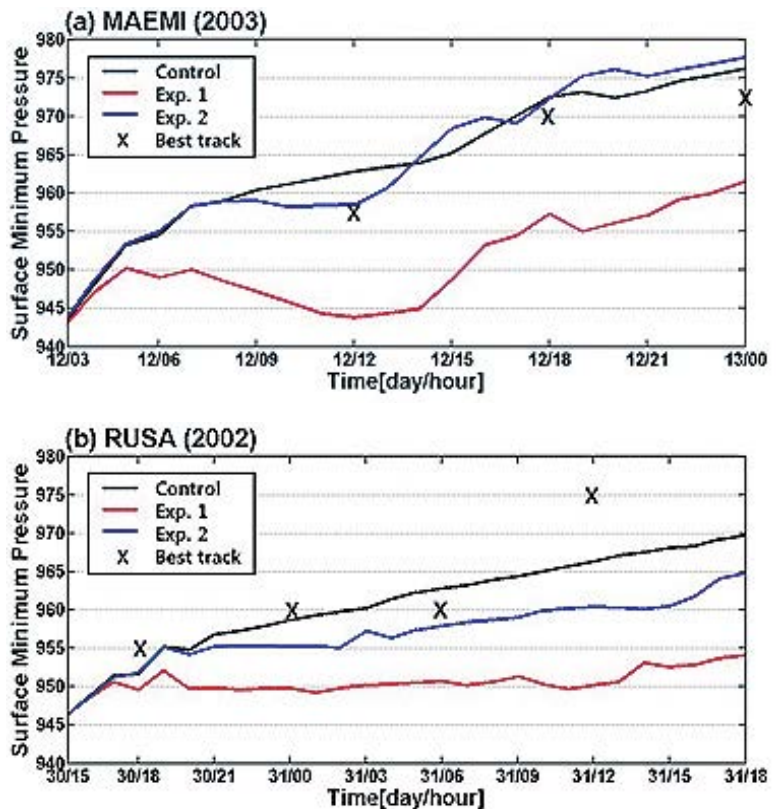
Oh and Moon(2013)은 A1B 시나리오의 MPI_ECHAM5 기후모델 결과를 이용하여 우리나라에 가장 큰 피해를 입힌 두 태풍인 2002년 루사와 2003년 매미가 100년 뒤 온난화 환경

에서 다시 내습한다면 얼마나 더 강하게 한반도에 상륙할 것인지 수치실험을 통해 조사하였다. 이 연구의 첫 실험에서(exp. 1)는 태풍 루사와 매미의 진로에 영향을 주는 대기환경은 고정하고, 동중국해에서의 해수면 온도 상승만을 고려하였다(여기서 기후모델의 수온 증가율은 격자마다 다르지만 동중국해에서 수온이 100년간 평균 3.9℃ 상승한 것으로 가정함). 수치실험 결과, 태풍 매미는 100년 뒤 한반도 상륙 시기에 중심기압이 19hPa 감소하고 최대풍속은 11m/s 증가하였다. 태풍 루사는 중심기압이 17hPa 감소하고 최대풍속은 8m/s 증가하였다(그림 4).

미래에 기후변화는 수온뿐만 아니라 기온, 기압, 습도와 같은 대기장을 변화시키고, 이러한 해양과 대기의 종합적인 환경 변화가 한반도에 접근하는 태풍의 강도에 영향을 미칠 것이다(Oh and Moon, 2013). 이점을 고려

하여 두 태풍에 대해 이번에는 100년 뒤의 대기환경(기온과 습도 등) 변화까지 고려하여 수치실험(exp. 2)을 수행하였다. 그 결과, 태풍 매미와 루사의 중심기압은 각각 7hPa와 5hPa밖에 감소하지 않았다. 이것은 미래의 온난화 환경에서 해수면 온도가 상승한 만큼 상층 대기의 기온도 상승하여 태풍의 잠재강도(potential intensity)에 영향을 미치는 상하층 온도차가 크게 증가하지 않았기 때문으로 분석된다. Oh and Moon (2013)은 상층 기온 자료는 관측자

〔그림 4〕 2003년 태풍 매미(a)와 2002년 태풍 루사(b)에 대해 수치모델로 모의한 중심기압 시계열 비교(Control: 실제 환경의 실험, Exp. 1: 100년 뒤의 해수면 온도 변화만을 고려한 실험, Exp. 2: 100년 뒤의 해수면 온도와 대기장의 변화를 동시에 고려한 실험. x 표시는 최적경로 자료).





료의 부족으로 재분석기후 자료들 간에도 차이가 크고, 기후모델의 예측결과도 모델별로 차이가 크기 때문에 단일 기후모델의 예측결과만으로 미래 태풍을 예측하는 것은 한계가 있음을 지적하였다. 그러나 이 실험에서 알 수 있는 것은, 해수면 온도의 상승만을 고려할 경우, 우리나라에 경험하지 못한 강한 태풍의 내습 가능성이 높다는 것이다. 따라서 미래 해수면 온도의 변화만을 고려한 결과만으로도 보수적인 관점에서는 미래 태풍을 대비하는데 충분히 활용될 수 있을 것이다.

V. 시사점 및 예특보시 고려사항

2011년 일본 도후쿠 태평양 연안에서 발생한 규모 9.1의 지진과 이로 인한 지진해일로 발생한 후쿠시마 원자력 발전소 방사능 유출은 자연재해를 유발하는 극값 예측의 중요성을 강조한다. 그 당시 일본은 지진해일을 대비하기 위한 수중 방벽까지 준비하였지만, 예상한 극값을 뛰어 넘은 9.1 규모의 지진에 준비한 모든 것이 소용없게 되었다. 우리가 기후변화로 달라지는 태풍을 예측하지 못한다면 그리고 이에 대한 준비를 하지 못한다면, 어느 날 우리나라도 일본과 같이 경험하지 못한 재앙에 직면할 수도 있다.

가장 시급한 문제는 기후변화를 고려하여 한반도에 내습할 수 있는 최대강도의 태풍을 출현 빈도별로 또는 지역별로 보다 현실적으로 추정하는 기술을 개발하는 것이다. 현재 공학 분야에서는 기후변화를 고려한 한반도 미래 태풍의 최대강도를 해수면 온도, 이동시간, 위도 등을 적용한 간단한 수식을 사용하여 추정한다(Kim, 2016). 심지어 원자력 발전소의 설계 변경과 같은 중요한 사항에 대해서도 간단한 해수면 온도만의 함수로만 미래 가능 최대강도 태풍을 추정하는 것으로 알려져 있다(개인 정보수집; 여기서 사용된 해수면 온도 자료는 태풍의 이동경로 상의 자료가 아니라 IPCC 보고서에 예측한 전 지구 평균값을 사용함). 이렇게 비현실적인 방법으로 추정된 미래 가능 태풍의 극값 자료는 설계해면과 설계파고를 계산하는데 직접적으로 사용된다.

기후변화로 달라지는 태풍을 비현실적으로 예측하게 되면 크게 두 가지 결과가 초래될 수 있다. 첫째, 일본 도후쿠 지진의 예와 같이 미래 가능 태풍의 극값을 과소평가하여 예상하지

못한 큰 자연재해가 발생할 수 있다. 원자력 발전소를 포함한 연안의 모든 중요 기관시설은 출현기간 내에 예상되는 태풍에 견디도록 디자인된다. 따라서 예상을 뛰어 넘는 태풍의 내습은 재앙에 가까운 대규모 피해로 이어질 수 있다. 기상기후 예측 기술이 가장 앞선 미국에서도 기후변화로 달라진 허리케인을 예상하지 못해 2005년 카트리나와 2017년 하비 시기에 천문학적인 재산피해와 기록적인 인명피해가 발생했음을 기억해야 한다. 둘째, 미래 가능 태풍의 극값을 과대평가하게 되면 출현빈도 내에 발생하지 않을 태풍까지 고려하여 막대한 예산 낭비를 초래할 수 있다. 추정된 태풍 강도 값은 원자력 발전소의 방파제 높이와 두께 등을 결정하는 최상위의 기초자료로 사용되기 때문이다.

기후변화 고려에 대한 이러한 문제는 예보관들의 태풍을 포함한 위험기상 예·특보시에도 똑같이 적용된다. 예를 들면, 기상이변 발생 시에 예보관들은 그 사건이 기후변화에 의해 발생한 것인지에 대해 의문을 종종 가지게 된다. 예보관들이 이 질문의 답을 찾으려고 할 때 두 가지 유형의 오류가 발생할 수 있다. 한 가지 유형의 오류는 기후변화의 역할을 과소평가하여 대중에게 적정 수준으로 경고하지 않아 적응 및 완화 노력을 적절히 조치하지 못하게 되는 경우이다. 두 번째 유형의 오류는 기후변화의 영향을 과대평가하여 기후 불안을 높이고 잠재적으로 잘못된 경보의 누적으로 신뢰성이 하락되어, 그 결과 중요한 위험기상 자체를 논의할 기회조차 잃게 되는 경우이다. 그렇다면 위험기상 예보시 기후변화를 얼마나 고려하는 것이 적절할까?

워싱턴 대학의 Durran 교수는 예보관들의 예보 사례 조사를 통해 기후변화로 인한 위험기상 발생 가능성을 과소평가 할 경우 실제로 발생하는 위험기상을 예측하지 못할 가능성이 커짐을 강조하였다(Durran, 2020). 이 결과는 예보관이 기후변화로 인한 위험성을 적절히 고려하지 않고 지나치게 신중한 예보를 하게 되거나 과거 기록에 의존하여 기상이변이 발생할 확률을 너무 낮게 판단할 경우, 적절한 경고를 하지 못해 심각한 재산피해와 인명손실을 발생시킬 수 있음을 의미한다. 또한 이런 경우 기후변화 심각성을 제대로 알리지 못해 인류의 기후변화 정책 수립 자체를 지연시킬 우려도 존재하게 된다. 따라서 오보가 우려되더라도 예보관들은 위험기상 예·특보시에 기후변화를 적극적으로 고려하는 것이 필요하다. 본 연구에서 살펴본 한반도를 포함한 전 지구적인 태풍의 특성 변화 그리고 온난화 환경에서 한반도 미



래 태풍 전망 결과는 향후 예보관들이 이례적인 태풍 예특보를 내려야하는 상황에서 판단을 위한 기초 자료로 활용될 수 있을 것이다.

참고문헌

- Basconcillo, J. and Moon, I.-J., 2022: Increasing activity of tropical cyclones in East Asia during the mature boreal autumn linked to long-term climate variability, *npj Clim Atmos Sci*, 5, <https://doi.org/10.1038/s41612-021-00222-6>.
- Chan, K.T.F., 2019: Are global tropical cyclones moving slower in a warming climate? *Environ. Res. Lett.*, 14, 104015. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ab4031>.
- Daloz, A. S., and Camargo, S. J., 2018: Is the poleward migration of tropical cyclone maximum intensity associated with a poleward migration of tropical cyclone genesis? *Climate Dyn.*, 50, 705-715, <https://doi.org/10.1007/s00382-017-3636-7>.
- Durran, D. R., 2020: Can the issuance of hazardous-weather warnings inform the attribution of extreme events to climate change? *Bull. Amer. Meteor.*, E1452, <https://doi.org/10.1175/BAMS-D-20-0026.1>.
- Elsner, J. B., Kossin, J. P., and Jagger, T. H., 2008: The increasing intensity of the strongest tropical cyclones. *Nature*, 455, 92-95.
- Kang, N.-Y., and Elsner, J. B., 2016: Climate mechanism for stronger typhoons in a warmer world. *J. Climate*, 29, 1051-1057, <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-15-0585.1>.
- Kim, G. Y., 2016: Estimation of future typhoon wind speed around Korean Peninsular considering climate. Ph. D. Dissertation, Chungbuk National University. 150pp.
- Knutson, T., Camargo, S. J., Chan, J. C. L., Emanuel, K., Ho, C.-H., Kossin, J., Mohapatra, M., Satoh, M., Sugi, M., Walsh, K., and Wu, L., 2019: Tropical cyclones and climate change assessment: Part I: Detection and attribution. *Bull. Amer. Meteor.*, 100(10), 1987-2007. <https://doi.org/10.1175/BAMS-D-18-0189.1>.
- Knutson, T., Camargo, S. J., Chan, J. C. L., Emanuel, K., Ho, C.-H., Kossin, J., Mohapatra, M., Satoh, M., Sugi, M., Walsh, K., and Wu, L., 2020: Tropical cyclones and climate change assessment: Part II. Projected response to anthropogenic warming. *Bull. Amer. Meteor.*, 101(3), E303-E322. <https://doi.org/10.1175/BAMS-D-18-0194.1>.
- Kossin, J. P., Olander, T. L., and Knapp, K. R., 2013: Trend analysis with a new global record of tropical cyclone intensity. *J. Climate*, 26, 9960-9976, <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-13-00262.1>.
- Kossin, J. P., Emanuel, K. A., and Vecchi, G. A., 2014: The poleward migration of the location of tropical cyclone maximum intensity. *Nature*, 509, 349-352, <https://doi.org/10.1038/nature13278>.
- Kossin, J. P., and Camargo, S. J., 2016: Past and projected changes in western North Pacific tropical cyclone exposure. *J. Climate*, 29, 5725-5739, <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-16-0076.1>.
- Kossin, J. P., 2018: A global slowdown of tropical cyclone translation speed. *Nature*, 558, 104-108, <https://doi.org/10.1038/s41586-018-0158-3>.
- Lanzante, J. R., 2019: Uncertainties in tropical-cyclone translation speed. *Nature*, 570, E16.

- Mei, W., and Xie, S.-P., 2016: Intensification of landfalling typhoons over the northwest Pacific since the last 1970s. *Nat. Geosci.*, 9, 753-757, <https://doi.org/10.1038/ngeo2792>.
- Moon, I.-J., Kim, S.-H., Klotzbach, P., and Chan, J. C. L., 2015: Roles of interbasin frequency changes in the poleward shifts of the maximum intensity location of tropical cyclones. *Environ. Res. Lett.*, 10, 104004, <https://doi.org/10.1088/1748-9326/10/10/104004>.
- Moon, I.-J., Kim, S.-H., Klotzbach, P., and Chan, J. C. L., 2016: Reply to comment on “Roles of interbasin frequency changes in the poleward shifts of the maximum intensity location of tropical cyclones.” *Environ. Res. Lett.*, 11, 068002, <https://doi.org/10.1088/1748-9326/11/6/068002>.
- Moon, I.-J., Kim, S.-H., and Chan, J. C. L., 2019: Climate change and tropical cyclone trend. *Nature*, 570, E3.
- Moon, I.-J., Knutson, T. R., Kim, H.-J., Babaninc, A. V., and Jeong, J.-Y., 2022: Why do eastern North Pacific hurricanes intensify more and faster than their western-counterpart typhoons with less ocean energy? *Bull. Amer. Meteor.*, In revision.
- Murakami, H., Mizuta, R., and Shindo, E., 2012: Future changes in tropical cyclone activity projected by multi-physics and multi-SST ensemble experiments using the 60-km-mesh MRI-AGCM. *Clim. Dyn.* 39, 2569-2584. <https://doi.org/10.1007/s00382-011-1223-x>
- Oh, S. M. and Moon, I.-J., 2013: Typhoon and storm surge intensity changes in a warming climate around the Korean Peninsula, *Natural Hazards*, 66, 1405-1429.
- Park, D. S. R. and Ho, C. H., 2014: Growing threat of intense tropical cyclones to East Asia over the period 1977-2010. *Environ. Res. Lett.*, 9, 014008, <https://doi.org/10.1088/1748-9326/9/1/014008>.
- Sharmila, S., and Walsh, K. J. E., 2018: Recent poleward shift of tropical cyclone formation linked to Hadley cell expansion. *Nat. Climate Change*, 8, 730-736, <https://doi.org/10.1038/s41558-018-0227-5>.
- Sobel, A. H., Camargo, S. J., Hall, T. M., Lee, C.-Y., Tippett, M. K., and Wing, A. A., 2016: Human influence on tropical cyclone intensity. *Science*, 353, 242-246, <https://doi.org/10.1126/science.aaf6574>.
- Wikipedia, 2022a: List of the deadliest tropical cyclones, https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_the_deadliest_tropical_cyclones.
- Wikipedia, 2022b: List of costliest Atlantic hurricanes. https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_costliest_Atlantic_hurricanes.

자연재난에 안전한 지자체 구축을 위한 기상특보의 활용



허중배 부산연구원 해양·관광연구실 연구위원 jbheo@bdi.re.kr

- I. 기상특보의 가치
- II. 부산지역 자연재난 발생현황 및 여건
- III. 부산지역 회복탄력성 제고를 위한 기상특보의 활용
- IV. 맺음말

우리나라에서는 최근 들어 자연재난이 대형화, 복잡화되고 있는 상황이다. 기후위기에 대응하고 자연재난으로 부터 시민의 안전을 확보하기 위해서는 재난에 대한 회복탄력성(사회시스템이 재난에 대응하고 회복하는 능력)의 향상이 중요하다. 이에 본 기고에서는 기상특보를 활용하여 지자체의 자연재난 회복탄력성의 향상 방안을 부산지역 사례 연구를 중심으로 살펴보고자 한다. ■



I. 기상특보의 가치

1. 우리나라 기상특보 제도

기상특보는 다양한 기상현상으로 인하여 자연재해가 발생할 우려가 있을 때 이를 경고하기 위하여 발표하는 기상예보이다. 우리나라의 기상특보는 1964년 「예보업무규정(훈령 5호)」에 의거하여 운영되기 시작하였고, 2019년 「예보업무규정(훈령 936호)」에 따라 전부 또는 일부개정

〈표 1〉 기상특보 발표기준

종류	주의보	경보
강풍	육상에서 풍속 50.4km/h(14m/s) 이상 또는 순간풍속 72.0km/h(20m/s) 이상이 예상될 때. 다만, 산지는 풍속 61.2km/h(17m/s) 이상 또는 순간풍속 90.0km/h(25m/s) 이상이 예상될 때	육상에서 풍속 75.6km/h(21m/s) 이상 또는 순간풍속 93.6km/h(26m/s) 이상이 예상될 때. 다만, 산지는 풍속 86.4km/h(24m/s) 이상 또는 순간풍속 108.0km/h(30m/s) 이상이 예상될 때
풍랑	해상에서 풍속 50.4km/h(14m/s) 이상이 3시간 이상 지속되거나 유의파고가 3m 이상이 예상될 때	해상에서 풍속 75.6km/h(21m/s) 이상이 3시간 이상 지속되거나 유의파고가 5m 이상이 예상될 때
호우	3시간 강우량이 60mm 이상 예상되거나 12시간 강우량이 110mm 이상 예상될 때	3시간 강우량이 90mm 이상 예상되거나 12시간 강우량이 180mm 이상 예상될 때
대설	24시간 신적설이 5cm 이상 예상될 때	24시간 신적설이 20cm 이상 예상될 때. 다만, 산지는 24시간 신적설이 30cm 이상 예상될 때
건조	실효습도 35% 이하가 2일 이상 계속될 것이 예상될 때	실효습도 25% 이하가 2일 이상 계속될 것이 예상될 때
폭풍해일	천문조, 폭풍, 저기압 등의 복합적인 영향으로 해수면이 상승하여 발효기준값 이상이 예상될 때. 다만, 발효기준값은 지역별로 별도지정	천문조, 폭풍, 저기압 등의 복합적인 영향으로 해수면이 상승하여 발효기준값 이상이 예상될 때. 다만, 발효기준값은 지역별로 별도지정
한파	10월~4월에 다음 중 하나에 해당하는 경우 ① 아침최저기온이 전날보다 10℃ 이상 하강하여 3℃ 이하이고 평년값보다 3℃가 낮을 것으로 예상될 때 ② 아침최저기온이 -12℃ 이하가 2일 이상 지속될 것이 예상될 때 ③ 급격한 저온현상으로 중대한 피해가 예상될 때	10월~4월에 다음 중 하나에 해당하는 경우 ① 아침최저기온이 전날보다 15℃ 이상 하강하여 3℃ 이하이고 평년값보다 3℃가 낮을 것으로 예상될 때 ② 아침최저기온이 -15℃ 이하가 2일 이상 지속될 것이 예상될 때 ③ 급격한 저온현상으로 광범위한 지역에서 중대한 피해가 예상될 때
태풍	태풍으로 인하여 강풍, 풍랑, 호우, 폭풍해일 현상 등이 주의보 기준에 도달할 것으로 예상될 때	태풍으로 인하여 다음 중 어느 하나에 해당하는 경우 ① 강풍(또는 풍랑) 경보 기준에 도달할 것으로 예상될 때 ② 총 강우량이 200mm 이상 예상될 때 ③ 폭풍해일 경보 기준에 도달할 것으로 예상될 때
황사	‘황사주의보’는 ‘미세먼지경보’로 대체(‘17.1.13 시행)	황사로 인해 1시간 평균 미세먼지(PM10) 농도 800 μ g/m ³ 이상이 2시간 이상 지속될 것으로 예상될 때
폭염	폭염으로 인하여 다음 중 어느 하나에 해당하는 경우 ① 일최고체감온도 33℃ 이상인 상태가 2일 이상 지속될 것으로 예상될 때 ② 급격한 체감온도 상승 또는 폭염 장기화 등으로 중대한 피해발생이 예상될 때 - 체감온도: 기온에 습도, 바람 등의 영향이 더해져 사람이 느끼는 더위나 추위를 정량적으로 나타낸 온도 - 습도 10% 증가 시마다 체감온도 1도 가량 증가하는 특징	폭염으로 인하여 다음 중 어느 하나에 해당하는 경우 ① 일최고체감온도 35℃ 이상인 상태가 2일 이상 지속될 것으로 예상될 때 ② 급격한 체감온도 상승 또는 폭염 장기화 등으로 광범위한 지역에서 중대한 피해발생이 예상될 때

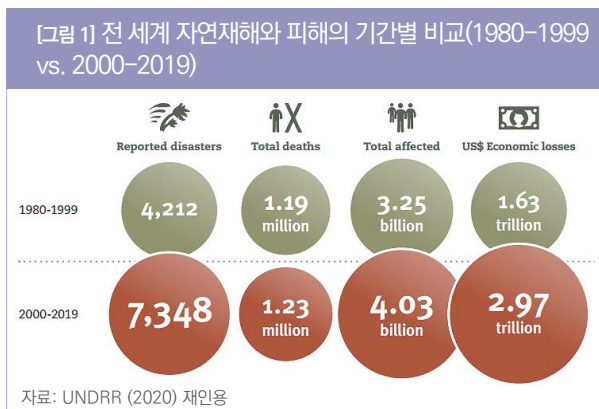
자료: 기상청 홈페이지(기상청 날씨누리, <https://www.weather.go.kr/weather/warning/stadndard.do>)

을 이루어 시행되고 있다(주)웨더피아컨소시엄, 2020). 현재 기상청은 10개의 기상요소(강풍, 풍랑, 호우, 대설, 건조, 폭풍해일, 한파, 태풍, 황사, 폭염)에 대하여 주의보와 경보의 2단계로 기상특보를 발표하고 있다(표 1).

방재대응의 관점에서 기상특보의 주요 소비자는 방재유관기관(경찰·소방·군)과 지자체(광역·기초지자체)라 하겠으며, 지자체는 기상특보 발령 상황에 따라 상황판단회의를 거쳐 재난대응 행동메뉴얼에 의거하여 재난 발생에 대비한 ‘피해 예방을 위한 사전감시’, ‘피해 최소화’, ‘피해 복구’ 등 일련의 재난·안전·방재 시스템을 운영하게 된다. 기후변화로 인하여 극단적 기상이변이 빈번하게 발생하고 있는 현 상황에서 시민의 안전을 확보하고 재산을 효과적으로 보호하기 위해서는 기상특보의 정확도를 높이고 지자체의 방재대응과 실시간으로 연계시킬 수 있는 방안을 지속적으로 추진해야할 필요가 있다.

2. 기상특보의 활용 가치

유엔 산하 재난위험경감사무국(United Nations Office for Disaster Risk Reduction)은 2000년부터 2019년까지 20년 동안 전 세계에서 7,348건의 자연재해가 발생하여 40억 명이 피해를 입었으며 그 중에서 약 123만 명이 사망한 것으로 추산하였고, 재산피해액은 약 2.97조 달



러인 것으로 발표하였다(UNDRR, 2020). 지난 20년 동안의 자연재해 발생건수와 재산피해액은 앞선 20년(1980-1999) 동안 발생한 자연재해(총 4,212건)와 재산피해액(1.63조달러)보다 거의 2배 가까이 증가하였으나, 지난 20년 동안 발생한 인명피해는 앞선 20년에 비해 자연재해와 재산피해액 발생의 증가만큼 크지는 않았다(그림 1). 지난 20년 동안 발생한 자연재난으로 인한 인명피해가 저소득국가에 몰려있으며, 이

들 국가의 자연재난으로 인한 사망자는 주요 선진국의 4배에 이르고 있다(그림 2). 주요 선진국은 위험기상 예·특보를 활용한 재난·안전 대응 시스템의 구축과 활용으로 자연재난에 대한 회복탄력성(사회시스템이 재난에 대응하고 회복하는 능력)을 향상하여 기후변화로 인한 대형 자연재난의 빈번한 발생에도 불구하고 인명피해를 최소화 시키고 있다고 하겠다.

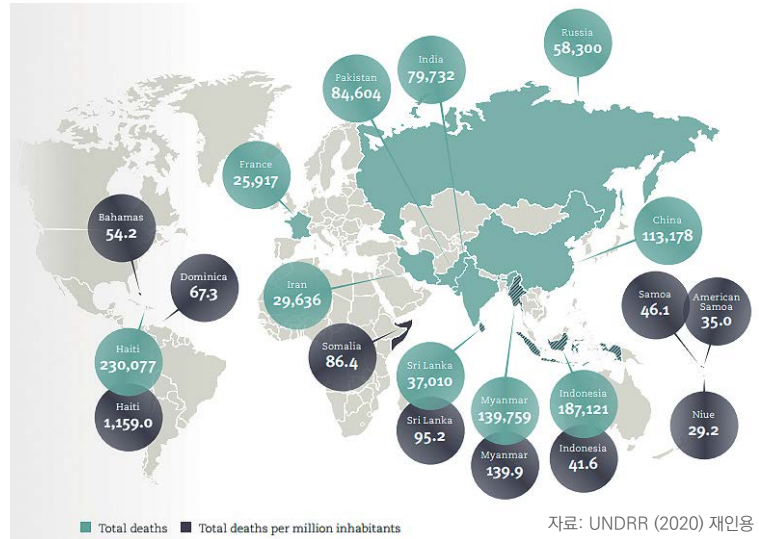


전 세계적으로 위험기상에 대한 조기경보시스템 기술은 크게 발전하였다. 슈퍼컴퓨터와 위성기술의 발달은 위험기상의 예측 능력을 크게 향상시켰으며, 인공지능 기술의 발전은 고해상도 시·공간적인 지역 맞춤형 기상서비스를 가능하게 하여 국제적/국가적/지역적 단위의 재난·안전·방재 대응시스템의 구축과 활용을 용이하게 하였다. 이제는 개인이 휴대전화 알림과 날씨 앱을 활용하여 외딴 지역에서도

자연재난 발생에 대하여 사전에 대비할 수 있을 정도이다.

세계기상기구(World Meteorological Organization)에 의하면, 전 세계적으로 극한기상의 노출로 인한 사망자가 1970년대 연평균 5만 명 이상에서 위험기상에 대한 조기경보시스템 구축과 활용으로 2010년대에 연평균 2만 명 미만으로 감소한 것으로 추산되고 있다(WMO 홈페이지, 2022). 현재, WMO 회원국 중 40%만이 다중위험조기경보시스템(Multi-Hazard Early Warning System)을 구축하여 활용하고 있는 실정을 감안하면, 향후 글로벌 다중위험조기경보시스템을 구축하여 저개발국가와 개발도상국가에서 공동으로 활용할 경우, 위험기상 노출로 인한 전 세계적인 인명피해를 크게 감소시킬 수 있을 것이다.

[그림 2] 지난 20년(2000~2019) 동안 발생한 인명피해 상위 10개 지역·국가 현황



II. 부산지역 자연재난 발생현황 및 여건¹⁾

1. 부산지역 특성 및 자연재난 발생 현황

부산은 표고 50m 이하의 저지대가 전체 면적의 47% 정도를 차지하고 있으므로 집중호우와 태풍 발생 시, 저지대 침수가 빈번하게 발생하는 지역이다. 특히, 부산지역은 평균경사가 12.8°

1) 김기욱 외(2021)를 참고하여 정리

이고, 30° 이상의 급경사지 비율이 전체 면적의 12%를 차지한다. 그리고 10° 이하의 경사 지역이 전체 면적의 49%를 차지하는 지형적인 특성으로 인하여 집중호우 발생 시 산지에서는 급류에 의한 하천 유실 등의 피해가 발생하고, 하구와 인접한 완만한 경사 지역은 조위에 의한 배수지체, 내수배재 불량 등으로 인한 내외수 침수가 발생하고 있어 풍수해 방어에 불리한 지형적 조건을 가지고 있다(김기욱 외, 2021).

최근 10년간(2010-2019) 우리나라에서 발생한 자연재난 현황을 살펴보면, 풍수해, 폭염, 한파, 설해, 지진으로 총 17,791명의 인명피해(사망·실종 363명, 부상·질병 17,428명)가 발생하였고, 약 3조 5,267억 원의 재산피해가 발생하였다(표 2). 최근 10년간의 연도별 자연재난 현황을 살펴보면, 2010년에는 태풍 곤파스와 8월-9월의 집중호우, 12월 대설, 2011년에는 태풍 무이파와 7월의 집중호우, 2012년에는 태풍 볼라벤과 덴빈의 영향으로 2010-2012년에 인명 및 재산피해가 집중되었으며, 특히 2011년에는 무려 78명의 사망자와 실종자가 발생하였다(김기욱 외, 2021). 이처럼 우리나라는 태풍과 집중호우와 같은 극치사상에 의해 막대한 피해를 입고 있는 상황이다.

〈표 2〉 우리나라 자연재난별 피해 현황

재난 유형	기간	인명피해(명)		재산피해 (백만 원)
		사망·실종	부상·질병	
풍수해	2010-2019	151	141	3,205,801
지진	2010-2019	0	15	96,042
설해	2010-2019	0	0	224,890
폭염	2011-2019	134	14,294	-
한파	2013-2019	78	2,978	-
합계	-	363	17,428	3,526,733

자료: 김기욱 외(2021) 재인용

우리나라 7대 특별·광역시의 지난 10년간(2010-2019) 자연재난 피해 현황에서 보듯이, 부산지역의 재산피해가 전체 특별·광역시 재산피해의 약 45% 가량을 차지한다(표 3). 특히, 우리나라 자연재난 대부분의 피해가 공공시설에 집중되고 있고, 부산지역의 공공시설(도로시설, 하천시설, 수도시설, 항만시설, 어항시설 등) 피해는 타 지역보다 심각하다.

최근 10년간(2010-2019) 부산지역의 주요 자연재난 발생 현황을 살펴보면, 부산지역은 풍수해, 지진, 설해, 폭염, 한파에 의해 총 828명의 인명피해가 발생하였고, 폭염, 한파, 풍수해 순으로



〈표 3〉 풍수해, 지진, 설해에 의한 7대 특광역시 피해 현황(2010-2019)

도시	인명피해(명)		재산피해(백만 원)		
	사망·실종	부상	전체	공공시설	사유시설
서울	28	41	58,674	36,061	643
부산	8	4	163,832	148,233	8,642
대구	1	1	834	563	128
인천	7	6	36,545	14,208	12,983
광주	1	1	19,037	3,501	14,725
대전	1	1	7,325	6,508	570
울산	3	1	79,357	69,222	2,572
합계	49	55	365,604	278,296	40,263

자료:김기욱 외(2021) 재인용

인명피해가 많이 발생하였다(표 4). 자연재난으로 인한 부산지역 재산피해는 약 1,638억 원 가량으로 재산피해의 대부분은 풍수해에 집중되었고, 이는 우리나라 전체 평균 풍수해 재산피해액보다 더 높다. 부산지역은 한반도 남동쪽에 위치한 해안지역으로써 태풍의 길목에 위치하므로 강풍에 의한 빈번한 해안가 피해 발생, 지형적 특성 및 급격한 도시화로 인한 도심지 돌발홍수의 잦은 발생 등으로 풍수해에 의한 재산피해가 크다(김기욱 외, 2021). 부산지역은 폭염에 의한 온열질환자 발생이 크게 증가하는 추세이며, 재난취약계층이 폭염의 주요 피해자로 나타나고 있다(김기욱 외, 2020). 자연재난에 대한 위험조기경보시스템 가동, 부산지역 맞춤형 기상특보의 활용 등을 기반으로 부산지역의 자연재난 회복탄력성 향상에 대한 방안 마련이 필요하다.

〈표 4〉 부산지역 자연재난별 피해 현황

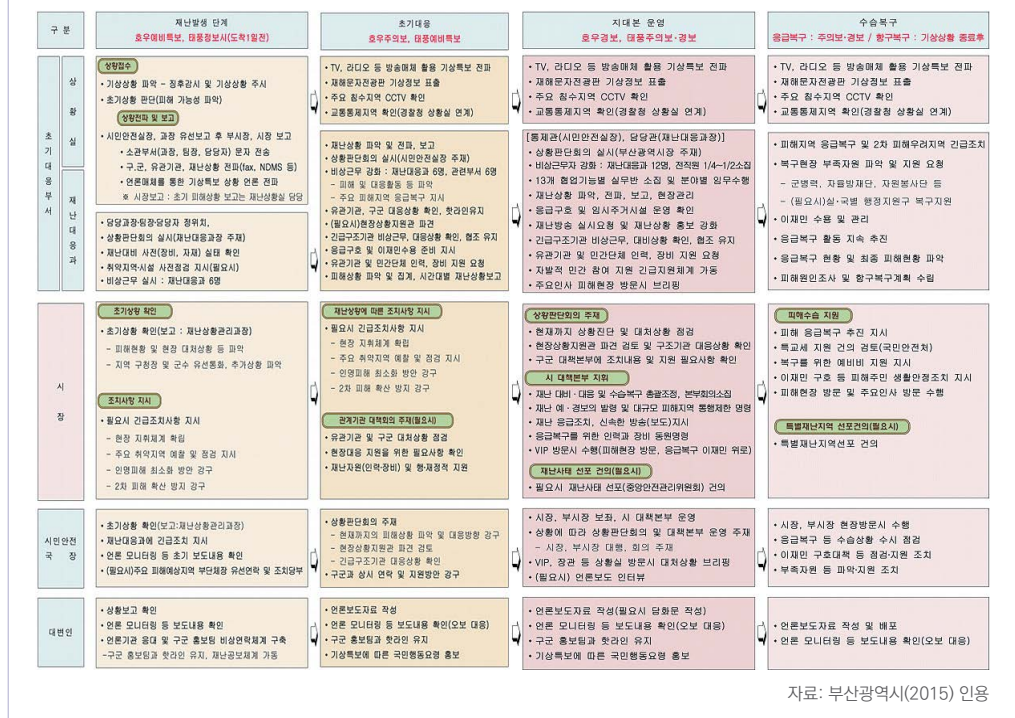
재난 유형	기간	인명피해(명)		재산피해(백만원)		
		사망·실종	부상·질병	전체	공공시설	사유시설
풍수해	2010-2019	8	4	157,754	148,233	2,625
지진		0	0	62	0	0
설해		0	0	6,016	0	6,017
폭염	2011-2019	12	654	-	-	-
한파	2013-2019	2	148	-	-	-
합계	-	22	806	163,832	148,233	8,642

자료:김기욱 외(2021) 재인용

2. 부산의 재난관리체계

우리나라에서 기상특보는 오래전부터 재난·안전·방재와 연계되어 활용되었다. 특히, 각 지자체는 현재 기상특보를 활용하여 자연재난 발생에 대비한 지자체별 재난대응 행동매뉴얼과 비상대응계획을 구비하여 대응하고 있다(주)웨더피아컨소시엄, 2020). 부산은 「부산광역시 재난대응

그림 3 부산광역시 자연재난 대응 프로세스



행동매뉴얼」을 재난유형별로 마련하여 자연재난 발생에 대비하고 있다(부산광역시, 2015). 부산의 자연재난 대응 행동매뉴얼은 「재난 및 안전관리 기본법」에 의거하여 작성되었으며, 재난상황 진행에 따라 각 단계별(예방·대비·대응·복구) 활동을 명문화 하고 있다(그림 3).

앞서 살펴본 바와 같이 각 지자체는 자연재난 유형별로 다른 피해를 나타내고 있다. 기상특보에 근거한 우리나라 중앙부처 및 각 지자체의 재난대응 행동매뉴얼은 모두가 다소 획일적이고 표준화되어 있다. 국내 기상특보 및 지역별 자연재난 방재관리의 효율성을 높이기 위해서는 획일적인 기상특보 활용 및 재난관리 체계를 지역 맞춤형으로 유연하게 적용할 필요가 있을 것으로 보인다. 또한, 재난안전과 관리에 대한 시민의 인식도는 시민의 사회경제적 지위 및 거주지역



에 따라 차이가 있으므로 지역 주민의 인식을 고려하여 재난관리에 대한 제도 개선이 필요하다 (김기욱 외, 2021).

Ⅲ. 부산지역 회복탄력성 제고를 위한 기상특보의 활용

부산지역은 자연재난 유형 중에서 폭염으로 인한 인명피해가 증가하고 있고, 특히 취약계층의 영향이 큰 것으로 나타나고 있다. 부산지역의 자연재난(특히, 폭염)에 대한 회복탄력성을 향상시키고 기상특보의 활용 가치를 높이기 위해서는 부산지역에 특화되고 차별화된 폭염특보의 기준 설정과 활용이 필요해 보인다. 현 시점에서 폭염특보의 지역별 기준 검토 및 개선에는 시간이 소요될 것으로 사료되므로, 부산지역에서 지역 맞춤형 열지수(혹은, 폭염노출 임계온도)를 도출하여 그에 따른 폭염특보를 시범적으로 운용할 필요가 있다. 「기상법」 제17조는 “기상청장 외의 자는 예보 및 특보를 할 수 없다. 다만, 국방상의 목적을 위한 경우와 「기상산업진흥법」 제6조에 따라 기상예보업의 등록을 한 자가 예보를 하는 경우에는 그러하지 않다.”라고 규정하고 있으므로(김기욱 외, 2020) 부산지역 차원의 폭염특보 발령을 위해서 별도의 「폭염 위험조기경보」를 개발하여 운영하는 것도 하나의 방법일 것으로 보인다. 장기적으로는 부산지역의 특성과 인구학적 영향을 고려한 폭염특보의 기준 설정과 운영이 필요하겠다.

기후변화로 인한 빈번한 극한기상 현상 발생과 증가하고 있는 위험기상의 예측 불확도는 자연재난으로부터 회복탄력성을 향상시켜 안전도시 부산을 구현하고자 하는 목표에 큰 걸림돌이다. 국립재난안전연구원의 2018-2020년 위험목록보고서에 의하면, 부산지역은 대부분의 자연재난 유형에서 4-5등급의 ‘위험’지역에 포함되어 있다(김기욱 외, 2021). 특히, 부산지역은 대부분의 재산피해가 풍수해로 인해 발생하므로 하천, 도로, 항만시설 등의 공공시설과 사회기반시설에 그 피해가 집중되고 있다. 재난안전방재분야 관점에서 도시의 회복탄력성은 기후변화, 인구증가 등에 따른 재난 상황의 불확실성을 빠르게 해소하고 적응 능력을 강화시킴으로써 달성이 가능하다. 현재 다양한 분야에서 IoT 스마트 기술과 빅데이터 분석 기술이 활용되고 있다. 이들 기술은 재난관리 및 기상·기후 예측에서도 폭넓게 활용되고 있다. 자연재난의 위험관리는 재난의 회피, 재난 영향의 최소화, 재난 피해복구를 위한 활동, 프로그램, 조치 등의 모든 과정을 포함한다. 슈퍼컴퓨터와 위성기술의 발전으로 구축한 위험기상의 예측 능력 향상 및 조기경보

시스템, 그리고 인공지능 기반의 지역 맞춤형 기상서비스의 발전과 현장 적용을 통하여 안전도시 부산을 구현할 수 있을 것이다.

IV. 맺음말

기후위기는 현재 우리가 직면한 여러 가지 환경문제 가운데서도 가장 중요한 사회적 이슈가 되었다. 기후위기의 시대에서 우리가 겪고 있는 많은 환경안전재난 문제는 단순한 지역적 문제를 벗어나 전 지구적 규모의 문제로 확대되고 있는 상황이다. 전 세계는 가속화된 기후변화로 인하여 강풍, 호우, 가뭄, 폭염, 한파 등의 자연재난을 빈번하게 경험하고 있으며, 향후 이들 재난의 발생빈도와 사회·경제적 피해 규모가 크게 증가할 것으로 예상된다. 우리나라 또한 최근 들어 자연재난이 복잡하고 대형화하고 있는 추세에 있다. 자연재난으로 인하여 발생하는 재산 피해액은 나날이 증가하고 있으며, 재난에 대한 복구액은 피해액 대비 최소 4배 이상이 소요되는 실정이다. 기상특보를 포함하는 위험기상 조기경보시스템은 전 세계적으로 1970년대 이후 자연재해로 인한 사망자를 70% 가까이 감소시켰다(World Economic Forum, 2022). 현 시점에서 기후적응 분야의 1.8조 달러 투자는 2030년에 약 7.1조 달러의 경제편익으로 돌아올 것으로 기대되는 상황이다(Global Commission on Adaptation, 2019). 2012년 허리케인 샌디로 인하여 14명의 사망자가 발생한 미국에서는 새로이 구축한 스톰경보시스템으로 2017년에 17개의 허리케인이 미국 본토에 상륙했음에도 불구하고 사망자가 발생하지 않게 하는데 크게 일조하였다(NOAA, 2017). 폭염경보시스템은 영국에서 온열질환자 감소에 기여하였고, 폭염경보시스템 운영비 21만 달러 대비 117명의 인명을 구하고, 4.68억 달러의 경제적 편익을 제공한 것으로 파악되었다(Toloo et al, 2013). 이처럼 기후위기의 시대에서 기상특보의 활용으로 인한 사회경제적 이득은 실로 막대하다 하겠다. 끊임없는 기술개발과 신기술 도입을 통하여 기후특보의 정확도를 높이고, 기상특보의 운영과 활용에 대한 제도 개선 및 지역별로 세분화된 기상특보의 운영 개선을 통하여 우리나라는 기상특보 활용의 극대화를 꾀해야 할 것이다.

참고문헌

기상청 홈페이지, 기상청 날씨누리, <https://www.weather.go.kr/weather/warning/stdandard.do>(2022. 07. 20.)



- 김기욱, 허종배, 박봉철, 2020: 부산시 폭염발생 현황 및 대응방안
- 김기욱, 박봉철, 허종배, 구윤모, 강지운, 2021: 안전도시 부산 구현을 위한 자연재난 회복탄력성 제고 방안
- 부산광역시, 2015: 2015년도 부산광역시 재난대응 행동매뉴얼
- ㈜웨더파인컨소시엄, 2020: 기상특보 체계 발전방향 설정을 위한 정책연구
- Ghasem (Sam) Toloo, Gerard FitzGerald, Peter Aitken, Kenneth Verrall and Shilu Tong, 2013: Are heat warning systems effective?, Environmental Health, 12:27
- Global Commission on Adaptation, 2019: Adapt now - A global call for leadership on climate resilience
- NOAA 홈페이지, New storm surge watches and warnings saved lives, <https://www.noaa.gov/news/new-storm-surge-watches-and-warnings-saved-lives>(2022. 07. 11.)
- UNDRR, 2020: The human cost of disasters: an overview of the last 20 years (2000-2019).
- World Economic Forum, UN calls for extreme weather warning systems for everyone on Earth within 5 years, <https://www.weforum.org/agenda/2022/03/un-extreme-weather-warning-systems-2030/>(2022. 07. 11.)
- WMO 홈페이지, Early warnings save lives and livelihoods, <https://public.wmo.int/en/resources/world-meteorological-day/world-meteorological-day-2022-early-warning-early-action/early-warnings-save-lives-and-livelihoods>(2022. 07. 20.)

기상기술정책지 발간 목록

창간호, 제1권 제1호(통권 창간호), 2008년 3월

칼 럼	• 기후변화 대응을 위한 기상청의 역할	권원태	3-11
정책초점	• 기후변화감시 발전 방향	김진석	12-18
	• 미국의 기상위성 개발현황과 향후전망	안명환	19-38
	• 기상산업의 위상과 성장가능성	김준모	39-45
	• 최적 일사 관측망 구축방안	이규태	46-57
	• 국가기상기술로드맵 수립의 배경과 의의	김백조, 김경립	58-61
논 단	• A New Generation of Heat Health Warning Systems for Seoul and Other Major Korean Cities	L.S. Kalkstein, S.C. Sheridan, Y.C.Au	62-68
해외기술동향	• 프랑스의 에어로솔 기후효과 관측 기술	김상우	69-79
	• 일본의 우주기상 기술	김지영, 신승숙	80-84

기상산업의 현황과 전략, 제1권 제2호(통권 제2호), 2008년 6월

칼 럼	• 기후변화시대, 기상산업 발전상	봉종현	1-3
정책초점	• 기상산업의 중요성과 전략적 위치	이중우	5-13
	• 기후변화가 산업에 미치는 경제적 영향과 적응대책	한기주	14-22
	• 기후경제학의 대두와 대응 전략	임상수	23-33
	• 기후변화와 신재생에너지 산업	구영덕	34-45
	• 기상산업 육성을 위한 정책대안 모색	김준모, 이기식	46-54
	• 미국 남동부의 응용기상산업 현황	임영권	55-64
	• 최근 황사의 특성 및 산업에 미치는 영향	김지영	65-70
논 단	• A brief introduction to the European Cooperation in the field of Scientific and Technical Research (COST)	Radan Huth	71-81
	• 우주환경의 현황과 전망	안병호	82-92
해외기술동향	• 유럽의 기후변화 시나리오 불확실성 평가 : EU(유럽연합) 기후변화 프로젝트를 중심으로	임은순	93-103
	• 미국 NOAA의 지구 감시 현황	전영신	104-107

항공기 관측과 활용, 제1권 제3호(통권 제3호), 2008년 9월

칼 럼	• 기상 관측·연구용 항공기 도입과 활용	정순갑	1-4
정책초점	• 무인항공기 개발 현황 및 응용 방안	오수훈, 구삼옥	6-18
	• 해외 기상관측용 항공기 운영 및 활용 실태	김금란, 장기호	19-34
	• 항공기를 이용한 대기물리 관측 체계 수립 방안	오성남	35-45
	• 효과적인 항공기 유지 관리 방안	김영철	46-56
	• 공군에서의 항공관측 현황과 전망	김종석	57-66
	• 항공기를 이용한 대기환경 감시	김정수	67-74
	• 항공/위성 정보를 활용한 재해 피해 조사	최우정, 심재현	75-84
논 단	• 유/무인항공기를 이용한 기후변화 감시	윤순창, 김지영	85-93
해외기술동향	• 미국의 첨단 기상관측 항공기(HIAPER) 운영 현황	김지영, 박소연	94-99
	• 미국의 탄소 추적자 시스템 개발 현황 및 전략	조천호	100-108
	• 미국의 우주기상 예보와 발전 방향	곽영실	109-117
뉴스 포커스	• 한국, IPCC 부의장국에 진출	허 은	118-119

기상기술정책지 발간 목록

전자기관측시스템 구축과 활용, 제1권 제4호(통권 제4호), 2008년 12월

칼 럼	• 전자기관측시스템(GEOSS) 구축과 이행의 중요성	정순갑	1-4
정책초점	• GEO/GEOSS 현황과 추진 계획	엄원근	6-21
	• GEOSS 구축을 위한 전략적 접근 방안	김병수	22-31
	• GEO 집행위원회에서의 리더십 강화 방안	허 은	32-39
	• 국내의 분야별 GEOSS 구축과 발전 방안	신동철	40-41
	- 재해 분야	박덕근	42-44
	- 보건 분야	이희일	45-47
	- 에너지자원 분야	황재홍, 이사로	48-50
	- 기상 및 기후 분야	이병렬	51-53
	- 수문 및 수자원 분야	조효섭	54-56
	- 생태계와 생물다양성 분야	장임석	57-58
	- 농업 분야	이정택	59-62
	- 해양 분야	김태동	63-67
	- 우주 분야	김용승, 박종욱	68-71
논 단	• Taking GEOSS to the next level	José Achache	72-75
해외기술동향	• GEOSS 공동 인프라(GCI) 구축 동향	강용성	76-83
	• 최근 주요 선진국의 GEO 구축 현황	이경미	84-95
뉴스 포커스	• 한국, GEO 집행 이사국 진출	이용섭	96-97

기상장비의 녹색산업화 전략, 제2권 제1호(통권 제5호), 2009년 3월

칼 럼	• 녹색산업으로서의 기상장비 산업 육성 정책 방향	전병성	1-2
정책초점	• 기상장비의 산업여건과 국산화 전략	김상조	4-13
	• 기상장비 수출 산업화를 위한 성공전략	이종국	14-21
	• 기상레이더 국산화 추진 방안	장기호, 석미경, 김정희	22-29
	• 기상레이더의 상용화 현황과 육성 방안	조성주	30-41
	• 기상장비의 시장성 확보 전략 및 방향	이부용	42-51
논 단	• 외국의 기상레이더 개발 동향과 제언	이규원	52-72
해외기술동향	• 유럽의 기상장비 산업 현황: 핀란드 바이살라를 중심으로	방기석	73-80
	• 세계의 기상장비 및 신기술 동향	김지영, 박소연	81-89

기후변화와 수문기상, 제2권 제2호(통권 제6호), 2009년 6월

칼 럼	• 기후변화에 따른 수문기상 정책 방향	전병성	1-2
정책초점	• 기후변화와 물환경정책	김영훈	4-15
	• 기후변화에 따른 물 관리 정책 방향	노재화	16-27
	• 기후변화에 따른 하천 설계빈도의 적정성 고찰	김문모, 정창삼, 여운광, 심재현	28-37
	• 수문기상정보를 활용한 확률강우량 산정 방안	문영일, 오태석	38-50
	• 수문기상학적 기후변화 추세	강부식	51-64
	• 기상정보 활용을 통한 미래의 물관리 정책	배덕호	65-77
	• 이상기후에 대응한 댐 운영 방안	차기욱	78-89
논 단	• 기후변화의 불확실성 해소를 위한 대응방안	양용석	90-110
해외기술동향	• 미국의 기상-수자원 연계기술 동향	정창삼	111-121
	• NOAA의 수문기상 서비스 및 연구개발 현황	김지영·박소연	122-131
	• 제5차 세계 물포럼(World Water Forum) 참관기	김용상	132-140

기상기술정책지 발간 목록

기상·기후변화와 경제, 제2권 제3호(통권 제7호), 2009년 9월

칼 럼	• 기상정보의 경제적 가치 제고를 위한 정책 방향	전병성	1-2
정책초점	• 기후변화에 따른 에너지정책	박현종	4-18
	• 기후변화 대응이 경제에 미치는 영향	박종현	19-29
	• 기후변화가 농업경제에 미치는 영향	김창길	30-42
	• 기상 재난에 따른 경제적 비용 손실 추정	김정인	43-52
	• 기상산업 활성화와 과제	이만기	53-59
	• 날씨 경영과 기상산업 활성화를 위한 정책 제언	김동식	60-69
논 단	• 기후변화와 새로운 시장	이명균	70-78
해외기술동향	• 기상정보의 사회·경제적 가치와 편익 추정	김지영	79-85
	• 강수의 경제적 가치 평가 방법론	유승훈	86-96
뉴스 포커스	• 기상정보의 경제적 가치 평가 워크숍 개최 후기	이영곤	97-103

날씨·기후 공감, 제2권 제4호(통권 제8호), 2009년 12월

칼 럼	• 날씨공감포럼의 의의와 발전방향	전병성	1-2
정책초점	• [건강] 지구온난화가 건강에 미치는 영향	고상백	4-19
	• [해양] 기후변화에 있어서 해양의 중요성과 정책방향	이재학	20-29
	• [산림] 기후변화에 따른 산림의 영향과 정책방안	차두송	30-41
	• [관광] 기후변화 시대의 관광 활성화 정책방향	김익근	42-50
	• [도시기후] 대구의 도시 기후 및 열 환경 특성	조명희, 조윤원, 김성재	51-60
	• [에너지] 태양에너지 소개와 보급의 필요성	김정배	61-72
	• [디자인] 생활디자인과 기후·기상과의 연계방안	김명주	73-88
논 단	• 국민과의 '소통' - 어떻게 할 것인가?	김연중	89-97
뉴스 포커스	• 날씨공감포럼 발전을 위한 정책 워크숍 개최 후기	김정윤	98-101

기후변화와 산업, 제3권 제1호(통권 제9호), 2010년 3월

칼 럼	• 기후변화에 따른 기상산업의 성장가능성과 육성정책	박광준	1-2
정책초점	• 기상이변의 경제학	이지훈	4-11
	• 기후변화 영향의 경제적 평가에 관한 소고	한기주	12-21
	• 기후변화 정책에 따른 산업계 영향 및 제언	이종인	22-32
	• 기후변화예측 관련 기술 동향 및 정책 방향	이상현, 정상기, 이상훈	33-45
	• 기후변화와 건설 산업	강운산	46-56
	• 코펜하겐 어코드와 탄소시장	노종환	57-66
	• 기후변화, 환경산업 그리고 환경경영	이서원	67-77
	• 이산화탄소(CO ₂) 저감기술 개발동향: DME 제조기술	조원준	78-84
논 단	• 기후변화와 정보통신 산업의 상관관계: 그린 IT를 중심으로	양용석	85-99
	• 기후변화 대응을 위한 산업계 및 소비자의 책임	김창섭	100-109
뉴스 포커스	• 기후변화미래포럼 개최 후기	김정윤	110-115

기상기술정책지 발간 목록

국가 기후정보 제공 및 활용 방안, 제3권 제2호(통권 제10호), 2010년 6월

칼 럼	• 국가기후자료 관리의 중요성	켄 크로포드	1-2
정책초점	• 기후변화통합영향평가에대한 국가기후정보의 역할	전성우	4-11
	• 친환경 도시 관리를 위한 기후 정보 구축 방안	권영아	12-22
	• 기상정보의 농업적 활용과 전망	심교문	23-32
	• 기상자료 활용에 의한 산불위험예보 실시간 웹서비스	원명수	33-45
	• 경기도의 기상·기후정보 활용	김동영	46-57
	• 국가기초풍속지도의 필요성	권순덕	58-62
	• 국가기후자료센터 구축과 기상산업 활성화	김병선	63-74
	• 국가기후자료센터 설립과 민간의 역할 분담	나성준	75-83
	• 가치있는 기후정보	김윤태, 정도준	84-99
논 단	• 기상청 기후자료 활용 증대 방안에 관한 제언	최영은	100-110
뉴스 포커스	• 국가기후자료센터의 역할	임용한	111-119

장기예보 정보의 사회경제적 가치와 활용, 제3권 제3호(통권 제11호), 2010년 9월

칼 럼	• 장기예보 투자 확대해야	박정규	1-2
정책초점	• 전력계통 운영 분야의 기상정보 활용	정응수	4-15
	• 기상 장기예보에 대한 소고	박창선	16-23
	• 패션머천다이징과 패션마케팅에서 기상 예보 정보의 활용	손미영	24-33
	• 장기예보의 사회·경제적 가치와 서비스 활성화 방안	김동식	34-43
	• 기상 장기예보의 농업적 가치와 활용	한점화	44-53
	• 장기예보 정보의 물관리 이수(利水) 측면에서의 가치와 활용	우수민, 김태국	54-64
	• 기상예보와 재해관리	박종윤, 신영섭	65-81
	• 장기예보 업무의 과거, 현재, 그리고 미래	김지영, 이현수	82-89
해외기술동향	• 영국기상청(Met Office) 해들리센터(Hadley Centre)의 기후 및 기후 영향에 관한 서비스 현황	조경숙	90-101
	• WMO 장기예보 다중모델 앙상블 선도센터(WMO LC-LRFMME)	윤원태	102-106
뉴스 포커스	• 영국기상청과의 계절예측시스템 공동 운영 협정 체결	이예숙	107-109

사회가 요구하는 미래기상서비스의 모습, 제3권 제4호(통권 제12호), 2010년 12월

칼 럼	• 시대의 요구에 부응하는 기상·기후서비스	권원태	1-3
정책초점	• 기상학의 역사	윤일희	6-16
	• 지질학에서 본 기후변동의 과거, 현재, 그리고 미래	이용일	17-29
	• 예보기술의 성장 촉진을 위한 광각렌즈	변희룡	30-44
	• 전쟁과 기상	반기성	45-55
	• 날씨와 선거	유현종	56-64
	• 기후변화와 문학	신문수	65-74
	• 기후변화와 문화 I (문명의 시작과 유럽문명을 중심으로)	오성남	75-87
	• 비타민 D의 새로운 조명	김상완	88-96
	• G20서울정상회담과 경호기상정보 생산을 위한 기상청의 역할	이선제	97-105
	• 기상정보의 축적과 유통 활성화를 통한 국부 창출	김영신	106-115
논 단	• 날씨의 심리학	최창호	116-122
해외기술동향	• 기상정보의 사회·경제적 평가에 관한 해외동향	김정윤, 김인겸	123-130

기상기술정책지 발간 목록

신규 시장 창출을 통한 기상산업 육성 방안, 제4권 제1호(통권 제13호), 2011년 6월

발 간 사	• G20 국가에 걸맞는 기상산업 발전 방향	조석준	1-3
칼 럼	• 대학과 공공연구소의 기상기술 이전 활성화 및 사업화 촉진을 위한 기술이전센터(TLO) 발전 방안	박종복	4-13
	• 새로운 기상산업 시장창출과 연계된 금융시장 활성화에 대한 소고 - 보험산업의 입장에서	조재린, 황진태	14-23
정책초점	• 신규 기상시장 창출을 통한 기상산업 육성 방안 연구	국립기상연구소 정책연구과	26-63

도시기상관측 선진화방안, 제4권 제2호(통권 제14호), 2011년 12월

발 간 사	• 도시기상 선진화, 미래의 약속입니다.	조석준	1-3
칼 럼	• 도시기후 연구의 과거, 현재, 미래	최광용	6-18
	• 기후변화로 인한 도시 재해기상의 특성 변화 및 기상관측 선진화 방안	박민규, 이석민	19-30
	• 도시열섬의 환경평가와 도시기상관측시스템 구축방안	김해동	31-42
	• 수치모델을 이용한 도시기상 연구의 현재와 한계	이순환	43-50
	• 도시 기상 관측 연구 현황	박영산	51-62
정책초점	• 도시기상 관측 선진화 방안 연구	이영곤	64-73

원격탐측기술(레이더, 위성, 고층) 융합정책 실용화 방안, 제5권 제1호(통권 제15호), 2012년 6월

칼 럼	• 원격탐측의 융합정책과 기상자원 가치 확산	Kenneth Crawford	3-8
정책초점	• 레이더-위성 융합 강수정보 생산 기술	신동빈	10-18
	• 위성과 첨단기술 융합을 통한 미래 기상서비스 발전 방향	은종원	19-27
	• 라이다 관측기술 활용 방안	김덕현	28-41
	• 위성기술을 이용한 수문분야의 융합 정책	배덕호, 이병주	42-53
	• 위성자료의 해양 환경감시 활용	황재동	54-65
논 단	• 우리나라의 융합기술발전 정책 방향	이상현	66-72
해외기술동향	• 일본의 원격탐사 활용 및 융합정책	윤보열, 장희욱, 임효숙	73-85
포 커 스	• 레이더 융합행정 포럼 : 레이더운영과	송원화	86-93

해양기상서비스의 현황 및 전망, 제5권 제2호(통권 제16호), 2012년 12월

칼 럼	• 해양기상서비스의 의미 및 가치 확산	박관영	3-7
정책초점	• 해양기상 융합서비스의 필요성	김민수	10-20
	• 수자원 변동에 따른 해양기상서비스의 강화	김희용	21-29
	• 해양기상정보 관리의 선진화 방안	정일영	30-39
	• 해양기상·기후변화 대응을 위한 정책제언	양홍근	40-47
	• 해양기상서비스 현황과 정책 방향	김유근	48-57
해외기술동향	• 선진 해양기상기술 동향	우승범	58-67
포 커 스	• 제4차 WMO/IOC 해양학 및 해양기상 합동기술위원회(JCOMM) 총회	해양기상과	68-73

기상기술정책지 발간 목록

국민의 행복 증진을 위한 "기상기후서비스 3.0", 제6권 제1호(통권 제17호), 2013년 6월

칼 럼	• 국민이 원하는 기상기후서비스	이일수	3-4
정책초점	• 기상기후분야 과학과 서비스 발전 방향	전종갑	6-14
	• 지진조기경보 역량 강화를 위한 정책적 제언	최호선	15-30
	• 기상기후 서비스 혁신을 위한 기술경영 전략	박선영	31-47
	• 자연재해 대응 서비스 기술 및 정책변화	허종완, 손흥민	48-59
논 단	• 수요자 맞춤형 서비스를 위한 기상기술 고도화 방안	김영준	60-72
포 커 스	• 국민행복서비스 포럼 개최 후기	국립기상연구소 정책연구과	73-78

빅데이터 활용 기상융합서비스, 제6권 제2호(통권 제18호), 2013년 12월

칼 럼	• 정부3.0에 따른 기상기후 빅데이터 활용	고윤화	3-4
정책초점	• [정책] 정부3.0 지원을 위한 빅데이터 융합전략	안문석	6-13
	• [정보] 스마트국가 구현을 위한 빅데이터 활용방안	김현곤	14-31
	• [서비스] 빅데이터 분석 기반 기상예보의 신뢰도 향상 방안	이기광	32-46
	• [경영] 빅데이터 기반 날씨경영 성과 제고 방안 - 공항기상정보 활용사례 -	방기석	47-58
	• [농업] 기후변화시나리오 활용 농업 기상 과학 융합 전략	김창길, 정지훈	59-76
	• [재난] 재난관리의 새로운 해결방안, 빅데이터	최선화, 김진영, 이종국	77-87
	• 기상기후데이터를 품은 빅데이터	이재원	88-97
논 단	• 한국형 복지국가의 전략적 방향성안	안상훈	98-111

기상기후 빅데이터와 경제, 제7권 제1호(통권 제19호), 2014년 6월

칼 럼	• 기상기후 빅데이터를 활용한 날씨경영	고윤화	3-4
정책초점	• 기상기후정보의 사회경제적 역할	안중배	6-11
	• 미래 재난재해 해결을 위한 기상기후 서비스	김도우, 정재학	12-19
	• 빅데이터의 사회경제적 파급효과	김진화	20-30
	• 기상기후 빅데이터의 산업경영 활용과 전략	김정인	31-41
	• 기상기후 빅데이터 기반 기상산업육성	송근용	42-56
	• 빅데이터 기반의 미래 산업	황종성	57-71
논 단	• 기상기후정보 효율성 제고를 위한 융복합 연구	이성종	72-77
포 커 스	• 위험기상에 따른 기상기후 빅데이터 활용	국립기상연구소 정책연구과	78-93

위성 기술과 활용, 제7권 제2호(통권 제20호), 2014년 12월

칼 럼	• 위성을 활용한 전 지구적 관측 방안	고윤화	3-4
정책초점	• 기상위성 운영기술의 선진화 방안	김방엽	6-15
	• 관측위성기술의 현황 및 전망	김병진	16-24
	• 연구개발용 위성의 현업 활용성 제고 방안	안명환	25-43
	• 위성을 이용한 국가재난감시 체계 구축	윤보열, 염종민, 한경수	44-56
	• 위성영상서비스 시장 빅뱅과 새로운 관점	조황희	57-67
	• 우주기상의 연구 현황 및 발전 방향	김용하	68-81
해외기술동향	• 기상위성 기술·정책 정보 동향	국가기상위성센터 위성기획과	82-92
	• 위성기반 작전기상 소개	안숙희, 김백조	93-100

기상기술정책지 발간 목록

장마의 사회경제적 영향, 제8권 제1호(통권 제21호), 2015년 6월

칼 럼	• 장마와 날씨경영	고윤화	3-5
정책초점	• 수자원 확보에 있어서 장마의 역할	박정수	8-16
	• 장마가 농업생산에 미치는 영향	최지현	17-24
	• 장마의 변동성과 예측성 향상	서경환	25-30
	• 장마기간 유통산업 영향 및 전략	김정운	31-40
	• 장마철 유의해야할 건강 상식	이준석	41-51
논 단	• 장마-몬순 예측기술 향상 방안	하경자	52-59
해외기술동향	• 동아시아 여름강수 예측기술 현황	권민호	60-65

겨울철 위험기상의 영향과 대응, 제8권 제2호(통권 제22호), 2015년 12월

칼 럼	• 겨울철 위험기상 예보의 중요성	고윤화	3-4
정책초점	• 겨울철 위험기상을 위한 에너지 정책	김두천	6-17
	• 한국의 동절기 도로제설 현황	양충현	18-29
	• 한파가 농업에 미치는 영향	심교문	30-41
	• 겨울철 한파 대비 건강관리	송경준	42-56
	• 겨울철 위험기상의 예측능력 향상	김주홍	57-68
논 단	• 미래 겨울철 위험기상의 변화	차동현	69-75

영향예보의 현황 및 응용, 제9권 제1호(통권 제23호), 2016년 6월

칼 럼	• 영향예보를 통한 기상재해 리스크 경감	고윤화	3-4
정책초점	• 영향예보 비전과 추진 방향	정관영	6-22
	• 재해기상 영향예보시스템 현황 소개	최병철	23-31
	• 영향예보 지원을 위한 수치예보 개발 방향	김동준	32-40
	• 영향예보를 위한 수문기상정보 지원	이은정	41-51
논 단	• 재해영향예보의 효과	손철, 김건후	52-63
포 커 스	• 확률 예보를 위한 앙상블예측 기술 소개 및 현황	강지순	64-74

인공지능을 접목한 기상 분야 활용, 제9권 제2호(통권 제24호), 2016년 12월

칼 럼	• 기상서비스를 변화시키는 인공지능	고윤화	3-4
정책초점	• 인공지능의 발달이 몰고 오는 변화상	진석용	6-20
	• 4차 산업혁명과 기상예보시스템의 혁신	최혜봉	21-30
	• 인공지능 시대를 살아가기 위한 인간 능력은?	구본권	31-50
	• 인공지능의 기상정책 개발 활용	국립기상과학원	51-63
논 단	• 인공지능 도입으로 정확도를 혁신하는 기상예보	고한석	64-77

기상기술정책지 발간 목록

영향예보 서비스 확대, 제10권 제1호(통권 제25호), 2017년 6월

칼 럼	• 영향예보 서비스 개발과 활성화	고윤화	3-4
정책초점	• 영향예보 서비스 확대를 위한 제언	예상옥	6-17
	• 교통안전관리를 위한 도로기상정보 활용	손영태	18-30
	• 태풍 재해 리스크 관리를 위한 영향예보	이은주	31-40
	• 기상, 기후 그리고 숲과 사람	박주원	41-55
	• KISTI 재난대응 의사결정지원시스템(K-DMSS) 소개	조민수	56-70
논 단	• 기상예측정보를 활용한 농경지 물사용 영향예보	최진용, 홍민기, 이성학, 이승재	71-81
	• 화재 기상예보 서비스	류정우, 권성필	82-92
포 커 스	• 오픈데이터와 일본기상비즈니스 컨소시엄	정효정	93-107

4차 산업혁명과 미래 기상기술, 제10권 제2호(통권 제26호), 2017년 12월

칼 럼	• 기후변화 저감을 위한 미래 기상기술	남재철	3-4
정책초점	• 4차 산업혁명과 미래 기후변화 대응기술	김형주	6-15
	• 4차 산업혁명 시대의 기후변화 대응	채여라	16-25
	• 인공지능 기술 발전을 위한 제도 및 정책	김윤정	26-43
	• 기후변화 대응을 위한 에너지 정책	전재완	44-54
	• 기후변화에 대응하기 위한 농업과 과학기술의 융합	이현숙	55-65
포 커 스	• 4차 산업혁명과 미래 전문직	윤상후	66-73

여름철 위험기상의 영향과 대응, 제11권 제1호(통권 제27호), 2018년 6월

칼 럼	• 국민의 안전을 위협하는 여름철 폭염과 대응	남재철	3-4
정책초점	• 기후변화로 심화되는 폭염 대응을 위한 경보체계의 개발	이명인	6-18
	• 재난정보관리 표준화 기술 개발	김병식	19-34
	• 지표홍반자와선정보 제공 및 향후 대응	박상서	35-43
	• 스마트 폭염대응을 위한 기상 전문가의 역할	권용석	44-53
	• 인공지능을 활용한 재해기상 저감-예측 기술	김동훈	54-69
	• 미래 여름철 기온변화에 의한 건강영향 예측	이재영, 김호	70-77
포 커 스	• 폭염 피해와 정책 동향	김도우	78-85

기상정보 활용 확대와 기상청의 역할, 제12권 제1호(통권 제28호), 2019년 6월

칼 럼	• 날씨, 국민 생활의 시작과 끝	김종석	3-4
정책초점	• 기상조건에 따른 이동수요의 변화	이재호, 전재영	6-14
	• 기상데이터로 알려주는 국민건강 알람서비스	한성욱, 전예슬	15-23
	• 신재생에너지 발전량 예측에서의 기상정보 활용	이영미, 박다빈	24-32
	• ICT수목원과 기상기술	이상용	33-43
	• 기후변화가 농작물 생산에 미치는 영향과 대응	문경환	44-57
	• 4차 산업혁명 기술을 활용한 친환경 건축/도시 설계 기술	이호영	58-69
	• 실시간 수(水)재해 예측을 위한 기상정보 활용 방안	이병주	70-80
	• 복합재난대응 연구사례 중 도심지 침수 현상을 중심으로	백용, 이동섭, 김형준	81-87

기상기술정책지 발간 목록

겨울철 위험기상의 사회경제적 영향, 제12권 제2호(통권 제29호), 2019년 12월

칼 럼	• 겨울철 안심사회 건설과 기상청의 기여	김종석	3-4
정책초점	• 도로에서의 기상정보 활용 및 시스템 구축 사례	윤덕근	6-16
	• 정확한 산불위험 예보를 위한 노력	이병두	17-24
	• 기해년 4월 산불 이후, 「산불극복 뉴딜 전략」 제언	김경남	25-39
	• 미세먼지 개선을 위한 국가 정책 및 기술 방향	심창섭	40-48
	• 2019년 겨울철 대설·한파 종합대책	최병진	49-59
	• 건강한 겨울나기, 겨울철 질환에 대한 예방 및 대응	임도선	60-68
논 단	• 서울시 미세먼지 저감정책의 효과: 차량 배출량 관점	허창희	69-80

중규모 대류계 기상현상의 이해와 대응, 제13권 제1호(통권 제30호), 2020년 6월

칼 럼	• 호우 피해, 아는 만큼 대비할 수 있다	김종석	3-4
정책초점	• 코로나, 4차 산업혁명, 그리고 대기 관측	홍진규	6-23
	• 도시 돌발홍수 관리를 위한 수문과 기상 기술의 융합	황석환, 이동률	24-40
	• 기후변화 대응과 소하천 계측기술	정태성	41-52
논 단	• 돌발 기상 예보와 과제	이우진	53-65
	• 중규모 대류계의 예측	이동규	66-79
	• 위성원격탐사 기반의 한반도 하계 강우특성 진단	손병주	80-90
	• 중규모 대류계 연구를 위한 국지기상관측 제언	이규원	91-105
포 커 스	• 집중호우 등 풍수재 사고와 담보보험	이보영	106-112

유관 부처 기상정보 관측·예측기술 현황, 제13권 제2호(통권 제31호), 2020년 12월

칼 럼	• 소금과 같은 기상서비스, 가치를 더하기 위해 부처협업이 필요한 때입니다	박광석	3-4
정책초점	• 국립해양조사원 해양예보서비스 현황	이준식	6-16
	• 동해연안 원전주변 해양환경변화 실시간 모니터링시스템	신종훈	17-31
	• 도로기상정보를 활용한 도로살얼음 사고예방 사례와 제언	경기원	32-43
	• 해양로봇을 활용한 해양 공간 조사와 활용	권오순	44-54
	• 국가대기오염측정망 운영과 명예대기관리원 제도	박지해	55-63
	• 식물계절 현장 관측자료를 활용한 산림생태계의 기후변화 영향 예측	손성원	64-72
	• 드론과 위성을 활용한 디지털 농업관측기술	홍석영	73-86
	• 홍수관리를 위한 기상 관측 및 정보 활용 현황	현명숙	87-98

미래 도심항공교통(UAM) 준비를 위한 지식·기술 그리고 정책, 제14권 제1호(통권 제32호), 2021년 6월

칼 럼	• 도심항공모빌리티(UAM) 성공을 위한 필수 정보 '기상정보'	박광석	3-4
정책초점	• 도심항공교통을 위한 기상관측 제언	이규원	6-19
	• 도심항공기상을 위한 중미기상학	강성락	20-31
	• 안전한 UAM을 향한 제언	홍진규	32-41
	• 도심항공교통(UAM) 안전을 위한 바람시어 및 돌풍감지시스템	박문수	42-55
논 단	• K-UAM 사업으로의 도시대기과학 연구 활용	김재진	56-66
포 커 스	• UAM 운항 지원을 위한 항공기상 자료 관련 제언	구성관	67-76

기상기술정책지 발간 목록

2050 탄소중립 대응 전략, 제14권 제2호(통권 제33호), 2021년 12월

칼 럼	• 탄소중립을 위한 청량음료 한 모금	박광석	3-4
정책초점	• 2050년 탄소중립 달성 전략	노동운	6-18
	• 2050 탄소중립 추진전략(에너지기술)	김현구	19-25
	• '2050 탄소중립'과 기후변화 과학	전익찬	26-32
	• 탄소중립 이행을 위한 신재생에너지 발전 분야의 이음새 없는(Seamless) 기후예측정보의 활용 제언	오지현	33-44
	• 2050 탄소중립 달성을 위한 생태계의 역할	이동근	45-55
	• 탄소중립대응을 위한 탄소흡수원 관리	이우균	56-65
포 커 스	• 기후위기 극복을 위한 탄소중립과 기후변화 적응	박진한	66-74

기상특보의 사회경제적 효과, 제15권 제1호(통권 제34호), 2022년 6월

칼 럼	• 기상재해 리스크 경감을 위한 기상청의 도전	유희동	3-4
정책초점	• 폭염특보 현황 및 선진화	이명인	6-20
	• 폭염과 건강영향, 그리고 대응정책	홍윤철	21-29
	• 폭염(열파)이 국민 건강에 미치는 영향을 고려한 폭염특보 개선 방향 제언	최광용	30-41
	• 호우특보와 재난관리	조재웅	42-54
	• 도시 기후변화 재해취약성분석 제도의 이해와 기상분야 과제	권용석	55-62
	• 변화하는 기후에 달라지는 태풍: 시사점과 대응방안	문일주	63-73
논 단	• 자연재난에 안전한 지자체 구축을 위한 기상특보의 활용	허중배	74-83
포 커 스			

『기상기술정책』 투고 안내

투고방법

1. 본 정책지는 기상기술 분야와 관련된 정책적 이슈나 최신 기술정보 동향을 다룬 글을 게재하며, 투고된 원고는 다른 간행물이나 단행본에서 발표되지 않은 것이어야 한다.
2. 원고의 특성에 따라 다음과 같은 5종류로 분류된다.
(1) 칼럼 (2) 정책초점 (3) 논단 (4) 해외기술동향 (5) 뉴스 포커스
3. 본 정책지는 연 2회(6월, 12월) 발간되며, 원고는 수시로 접수한다.
4. 원고를 투고할 때는 투고신청서, 인쇄된 원고 2부, 그림과 표를 포함한 원본의 내용이 담긴 파일(hwp 또는 doc)을 제출하며, 일단 제출된 원고는 반환하지 않는다. 원고접수는 E-mail을 통해서도 가능하다.

원고심사

1. 원고는 편집위원회의 검토를 통하여 게재여부를 결정한다.

원고작성 요령

1. 원고의 분량은 A4용지 10매 내외(단, 칼럼은 A4용지 3~5매 분량)로 다음의 양식에 따라 작성한다.
 - 1) 워드프로세서는 '아래한글' 또는 'MS Word' 사용
 - 2) 글꼴: 신명조
 - 3) 글자크기: 본문 11pt, 표·그림 10pt
 - 4) 줄간격: 160%
2. 원고는 국문 또는 영문으로 작성하되, 인명, 지명, 잡지명과 같이 어의가 혼동되기 쉬운 명칭은 영문 또는 한자를 혼용할 수 있다. 학술용어 및 물질명은 가능한 한 국문으로 표기한 후, 영문 또는 한문으로 삽입하여 표기한다. 숫자 및 단위의 표기는 SI규정에 따르며, 복합단위의 경우는 윗 첨자로 표시한다.
3. 원고 첫 페이지에 제목, 저자명, 소속, 직위, E-mail 등을 명기하고, 저자가 다수일 경우 제1저자를 맨 위에 기입하고, 나머지 저자는 그 아래에 순서대로 표시한다.
4. 원고의 계층을 나타내는 단락의 기호체계는 I, 1, 1), (1), ①의 순서를 따른다.
5. 표와 그림은 본문의 삽입위치에 기재한다. 표와 그림의 제목은 각각 원고 전편을 통하여 일련번호를 매겨 그림은 아래쪽, 표는 위쪽에 표기하며, 자료의 출처는 아랫부분에 밝힌다.
예) <표 1> <표 2> [그림 1] [그림 2]
6. 참고문헌(reference)
 - 1) 참고문헌 표기 양식
 - 참고문헌은 본문의 말미에 첨부하되 국내문헌(가나다 순), 외국문헌(알파벳 순)의 순서로 정리한다.
 - 저자가 3인 이상일 경우, '등' 또는 'et al.'을 사용한다.
 - 제1저자가 반복되는 경우 밑줄(_)로 표시하여 작성한다.
 - 2) 참고문헌 작성 양식
 - 단행본: 저자, 출판년도: 서명(영문은 이탤릭체), 출판사, 총 페이지 수.
 - 학술논문: 저자, 출판년도: 논문명, 게재지(영문은 이탤릭체), 권(호), 수록면.
 - 학술회의(또는 세미나) 발표논문: 저자, 발표년도: 논문명, 프로시딩명(영문은 이탤릭체), 수록면.
 - 인터넷자료: 웹 페이지 주소

