

“동남아는 끈적한 폭염, 중앙아시아는 메마른 폭염”

GIST, 아시아 폭염의 지역별 두 유형 규명

기온+습도 복합효과 대륙 단위 최초 정량 분석

- 환경·에너지공학과 윤진호 교수가 이끈 국제 공동연구팀, 50년(1973~2023년)에 걸친 아시아 전역 폭염 양상의 지역적 분화 밝혀... 몬순 지역 ‘습한 폭염’, 건조 지역 ‘건조 폭염’ 뚜렷이 구분
- 폭염의 지역별 양상은 대기 수분 균형 변화와 인위적 요인이 복합 작용한 결과로, 맞춤형 기후 대응과 보건 정책 마련의 필요성 강조... 국제학술지 《Climatic Change》 게재



▲ (왼쪽부터) 환경·에너지공학과 윤진호 교수, 박진아 박사

최근 지구 온난화로 세계 전역에서 폭염이 빈번해지는 가운데, 특히 온도와 습도가 동시에 높아지는 ‘복합 폭염(compound heatwave)’이 인체의 체온 조절을 어렵게 하고 노동 생산성까지 떨어뜨리는 주요 요인으로 지목되고 있다.

이런 가운데 아시아 대륙에서는 지역에 따라 뚜렷하게 다른 양상의 폭염이 나타난다는 연구 결과가 발표됐다.

광주과학기술원(GIST, 총장 임기철)은 환경·에너지공학과 윤진호 교수 연구팀이 국내외 연구진과 함께 아시아 전역의 폭염 현상을 기후 유형별로 정밀 분석한 결과, 한반도를 포함한 몬순 지역에서는 고온과 높은 습도가 결합된 ‘습한 폭염’이 빠르게 증가하고 있는 반면, 중앙아시아 등 건조 지역에서는 습도가 낮은 ‘건조 폭염’이 강화되고 있다고 밝혔다.

이번 연구는 아시아 전역의 폭염을 기온과 습도의 복합 효과까지 정량적으로 규명한 최초의 대륙 단위 분석이다. 연구팀은 유럽중기예보센터(ECMWF)의 고해상도 대기 재분석 자료(ERA5)를 활용해 1973~2023년 약 50년간의 아시아 여름철(6~8월) 기후 데이터를 정밀 검토했다.

기존 연구가 아시아 전체를 하나의 기후권으로 단순 구분한 데 비해, 이번 연구는 몬순 지역과 건조 지역을 구분해 폭염의 유형별 변화 추세를 정량적으로 규명했다는 점에서 큰 의의가 있다. 연구팀은 특히 '일 최고기온'뿐 아니라 기온과 습도를 함께 고려한 '습구온도*'를 통해, 인체가 실제로 느끼는 '열 스트레스'*변화를 함께 분석했다.

* **습구온도(Wet-Bulb Temperature, WBT)**: 공기 온도와 습도를 동시에 고려한 온도로, 공기 중 수증기가 증발할 때 흡수하는 열을 반영하여 측정한 체감 온도이다. 열 스트레스 평가, 폭염 위험, 산업 안전, 군사 훈련, 기후 연구 등에서 활용된다.

* **열 스트레스(heat stress)**: 고온 환경, 높은 습도, 강한 햇볕, 과도한 신체 활동 등으로 인해 체온 조절 능력이 부족해지면서 신체와 뇌가 받는 부담을 의미하며, 최근 세계보건기구(WHO)와 WMO(세계기상기구)는 전 세계 노동자들이 직면한 열 스트레스에 대해 경고한 바 있다. 따라서 현재 기상청에서 사용하는 폭염의 정의에는 습구온도를 고려하고 있다.

분석 결과, 몬순 지역(남·동남아시아, 남중국 등)에서는 최근 10여 년 동안 '습한 폭염' 발생일이 연평균 1.95일 늘었으며, 일반 폭염보다 더 빠른 속도로 늘어난 것으로 나타났다. 이 현상은 바다로부터의 수증기 유입 증가와 더불어 도시화로 인한 열섬 현상, 농업용 관개 확대 등 인위적 요인이 복합적으로 작용한 결과로 해석된다.

특히 2000년 이후 몬순 지역에서는 온도와 습도가 동시에 높은 '습한 폭염'이 급격히 증가했으며, 인도-갠지스 평원과 남중국 지역에서는 단순한 기온 상승보다 상대 습도의 상승이 폭염 심화의 주요 원인으로 작용했다.

남중국 지역은 뱅골만과 남중국해에서 유입된 수증기가 여름철 대기 중에 축적되며 습도가 급격히 높아졌고, 여기에 서태평양 아열대고기압(WPSH; Western Pacific Subtropical High)이 서쪽으로 이동하면서 습한 폭염이 더욱 강화됐다.

이러한 폭염은 땀의 증발을 억제해 체온 조절을 어렵게 하고, 노동 생산성과 건강 안전에 심각한 위협이 될 수 있다.

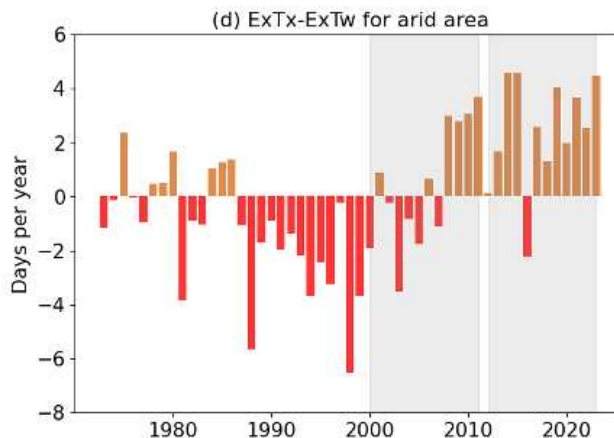
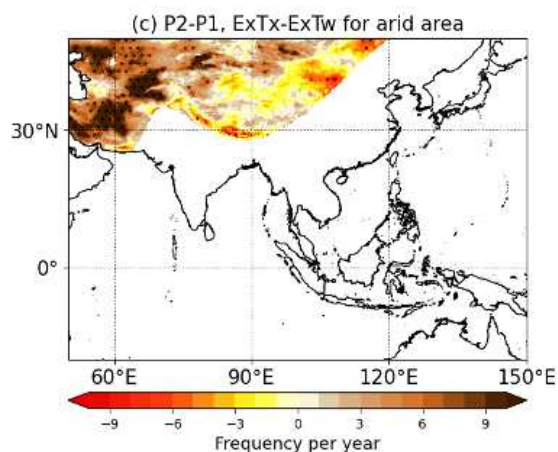
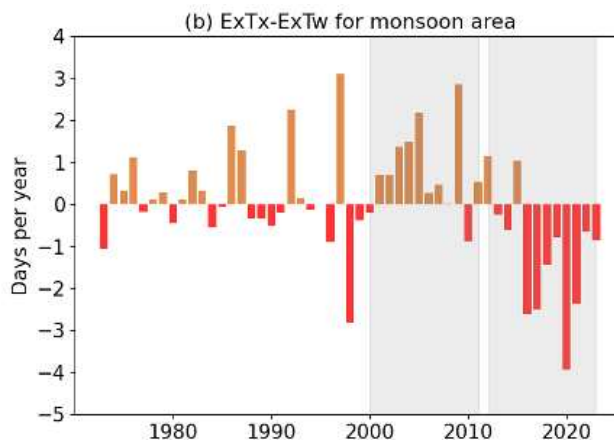
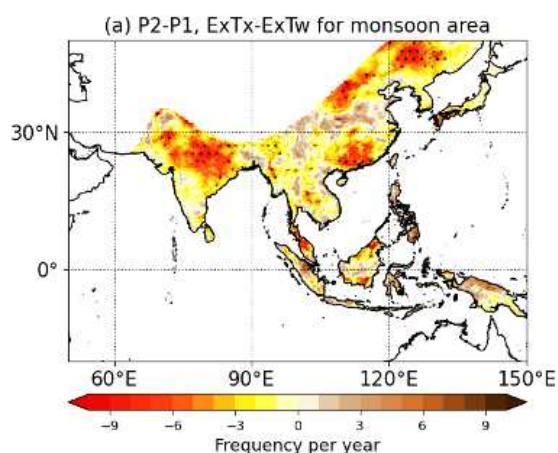
반면 중앙아시아·서아시아 등 건조 지역에서는 수분 공급이 제한된 환경 탓에 주로 기온만 치솟는 '건조 폭염'이 강화되는 양상을 보였다. 최근 10여 년간 건조 폭염 발생일이 연평균 2.05일 증가했으며, 이는 지역 내 수분 부족과 약한 수증기 수렴 현상이 원인으로 지목된다.

이 지역은 대기 중 수증기 유입이 거의 없어 습한 폭염은 크게 증가하지 않았지만, 극단적으로 높은 기온이 자주 나타나 농업 생산성과 수자원 관리에 직접적인 위험을 초래할 수 있다.

연구팀은 이러한 차이가 단순한 온도 상승이 아닌 기후 시스템의 '수분 균형*' 변화에서 비롯된 것이라고 설명했다. 몬순 지역은 인접 해양의 해수면 온도 상승으로 증발이 활발해지고, 강화된 남서풍과 몬순 순환이 바다의 수분을 육지로 대량 운반하면서 습도가 높게 유지된다. 여기에 도시화와 관개 확대 등 인위적 요인까지 결합되면서 '습한 폭염'이 심화된다.

반면 건조 지역은 고온 현상이 두드러지지만 수증기 유입이 거의 없어 '고온·건조 폭염'이 중심이 된다.

* **수분 균형(Moisture Balance)**: 어떤 시스템이나 물질 내에서 수분의 유입과 유출을 계산하여 전체 수분 변화를 평가하는 것을 말한다. 즉, 강우나 관개 등으로 들어오는 수분과 증발, 배수 등으로 나가는 수분을 비교하여 순수분 변화를 파악하는 개념이다.



▲ **온도기반 폭염과 습구온도기반 폭염의 비교.** (a) 몬순지역에서 P1(2000-2011)과 P2(2012-2023) 기간 동안 온도기반 폭염과 습구온도기반 폭염의 차이의 공간 분포. (c) 몬순지역에서 두 폭염 유형 차이의 시계열 변화. (b), (d)는 각각 (a), (c)와 동일하나 건조지역에 대한 결과를 나타냄. 값이 클수록 (갈색; >0) 온도기반 폭염이 더 자주 발생했음을, 값이 작을수록 (빨강; <0) 습구온도기반 폭염이 더 자주 발생했음을 의미함. 몬순지역은 습도가 높아지면서 습한 폭염(빨강)이 더 많아진 반면, 건조지역은 습도 변화가 크지 않아 건조 폭염(갈색)이 더 심화되었음을 보여준다.

연구팀은 이러한 지역별 폭염의 차별적 양상이 사회적 대응 전략에도 직접적인 함의를 갖는다고 강조했다. 몬순 지역에서는 온도와 습도가 동시에 높아 인체의 생리적 한계를 넘어설 위험이 커지고 있어, 보건·노동 분야의 안전망 강화와 취약계층 보호 정책 마련이 절실하다.

반면, 건조 지역은 극단적인 고온 현상이 농업 생산성과 수자원 관리에 직접적인 영향을 미치므로, 이에 초점을 맞춘 기후 적응 전략이 필요하다.

동일한 아시아 대륙 내에서도 지역별 기후 특성에 따라 위험 양상이 뚜렷이 다르게 전개되고 있는 만큼, 획일적 접근이 아닌 맞춤형 기후 대응 정책이 요구된다는 것이 연구팀의 설명이다.

윤진호 교수는 “같은 온도 상승이라도 지역의 기후 특성에 따라 폭염의 양상이 달라진다”며 “아시아의 폭염 양상은 지역적 특성이 매우 뚜렷한 만큼, 몬순 지역과 건조 지역을 구분해 대응하는 전략이 필요하다”고 말했다.

그는 또 “이를 간과하면 특정 지역에서 사회·경제 전반에 걸친 새로운 기후 리스크가 발생할 수 있다”고 경고했다.

박진아 박사(제1저자)는 “인도-갠지스 평원과 남중국처럼 습도가 높게 유지되는 지역에서는 열 스트레스 지표가 폭발적으로 상승해 인체 건강을 크게 위협한다”며 “기후변화 대응은 단순히 온도 상승뿐 아니라 습도의 결합 효과까지 반드시 고려해야 한다”고 강조했다.

이번 연구는 GIST 환경·에너지공학과 윤진호 교수와 박진아 박사가 주도하고, KAIST 김형준 교수, 세종대학교 정지훈 교수, APEC기후센터(APEC Climate Center) 문수연 박사 등이 참여한 국내외 공동연구로서, 과학기술정보통신부·한국연구재단 중견연구자지원사업의 지원을 받았다.

연구 결과는 국제학술지 《기후변화(Climatic Change)》에 2025년 10월 14일 온라인으로 게재됐다.

논문의 주요 정보

1. 논문명, 저자정보

- 저널명 : Climatic Change (Impact Factor: 4.8)
기상학 분야 상위 20% 이내(20/111)의 저명한 국제학술지
- 논문명 : Divergent trends of Tmax-based and Tw-based heat extremes across Asia's climatic divide
- 저자 정보 : Jina Park(제1저자, GIST 졸업생), S. -Y. Simon Wang, Hyungjun Kim, Jee-Hoon Jeong, Nobuyuki Utsumi, Suyeon Moon, Jin-Ho Yoon (교신저자, GIST 교수)