

배포일시 2026년 10월 23일(금)

보도시점 (분량) 즉시 (10페이지)

담당부서 경영지원실
대외협력과

보도자료 담당자 하만재 (051-745-3947,
010-9316-7299)

늦여름 큰비와 늦더위의 주범은 북쪽으로 올라간 비구름 통로 ‘전선’ 때문!

- ▶ 아태기후센터와 KAIST 연구진, 지난 47년간 동아시아 여름철 전선의 위치 변화 규명
- ▶ 9월 중하순 전선 위치 과거보다 약 213km 북상, 9월에도 폭염·호우 위험 키워 대비 필요

아시아태평양경제협력체 기후센터(원장 하경자, 이하 아태기후센터, APCC)와 한국과학기술원(총장 배충식, 이하 KAIST) 공동 연구진은 최근 기후변화로 인해 동아시아 지역의 비구름 통로 역할을 하는 ‘전선’이 9월에도 남쪽으로 내려가지 않고 과거보다 크게 북상하면서, 늦여름 폭염과 호우 위험을 동시에 키우고 있다는 사실을 밝혀냈다.

이번 연구 결과가 담긴 *논문(주저자 아태기후센터 문수연 박사, 공저자 아태기후센터 김옥연 박사·KAIST 김형준 교수)은 기후 및 대기과학 분야의 권위 있는 국제학술지인 ‘npj 기후 및 대기과학(npj Climate and Atmospheric Science)’에 게재되었다. 이번 연구는 ‘기상청 연구개발사업’과 한국연구재단의 ‘AI기반미래기후기술개발원천연구사업’의 지원을 받아 수행됐다.

* 논문 원제: *Recent change in northward migration of the East Asian summer front and increased compound wet-hot conditions*

* 논문 원문 게재 사이트: <https://doi.org/10.1038/s41612-026-01570-x>

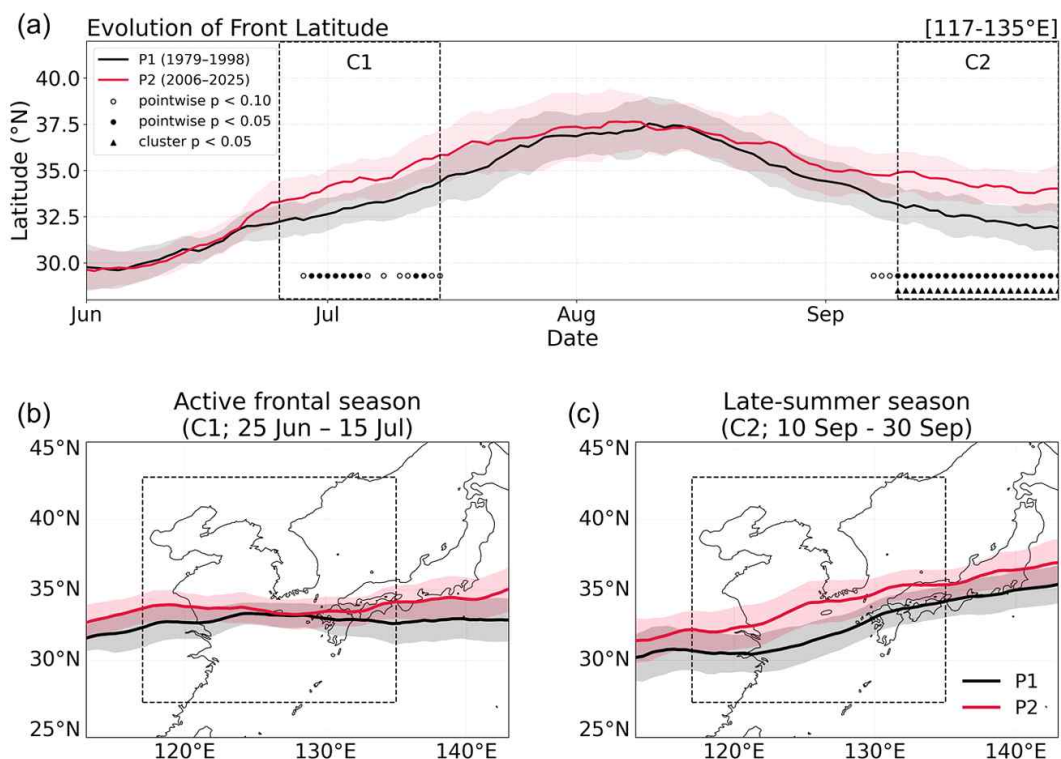
날씨 뉴스에서 흔히 듣는 ‘전선(Front)’은 성질이 서로 다른 차가운 공기 덩어리와 따뜻하고 습한 공기 덩어리가 만나 힘겨루기를 하는 경계선이다. 보이지 않는 거대한 두 공기 장막이 부딪히는 이 경계선을 따라 남쪽의 뜨겁고 습한 수증기가 유입되면, 공기가 위로 강하게 솟구치며 거대한 비구름이 만들어지고 집중호우가 쏟아진다.

즉, 전선은 하늘에 만들어지는 ‘집중호우의 길목’인 셈이다. 동시에 전선 주변에 가득 찬 덥고 습한 공기는 사람의 몸에서 땀이 증발하는 것을 막아 체온 조절을 어렵게 만들고 심한

더위(열 스트레스)를 유발한다. 보통 이 전선은 여름철(6월~8월)에 한반도 부근까지 올라왔다가, 찬 바람이 불기 시작하는 9월이 되면 남쪽으로 물러나는 것이 일반적이다.

연구팀은 이러한 전선의 움직임이 기후변화로 어떻게 달라졌는지 확인하기 위해, 1979년부터 2025년까지 47년간의 유럽중기예보센터(ECMWF) 재분석자료(ERA5)를 활용해 동아시아 전선의 위치를 정밀하게 추적했다.

분석 결과, 비구름 띠를 만드는 전선은 장마철 시기(6월 말~7월 중순)의 경우, 최근(2006~2025년)의 위치가 과거(1979~1998년)보다 위도 약 1.32도(약 146km) 북상했다. 반면 9월 중하순(9월 10일~30일)에는 최근의 전선 중심축이 과거보다 위도 약 1.92도, 실제 거리로 환산하면 약 213km(서울~대구 직선거리 수준)나 북쪽으로 올라와 장마철보다 훨씬 큰 폭의 변화를 보였다. 서울에서 대구까지의 직선거리에 맞먹는 만큼 비구름의 주된 길목이 북상한 것이다.



<과거와 최근 기후의 여름철 전선 위치 변화 비교>

연구팀은 기온뿐만 아니라 습도와 햇볕까지 종합해 사람이 실제로 느끼는 더위 위험도를 보여주는 ‘습구흑구온도(WBGT, 체감 열 스트레스 지수)’를 함께 분석했다. 그 결과, 9월 전선의 북상으로 인해 더위와 집중호우가 동시에 나타날 위험이 크게 높아졌음을 과학적으로 입증했다.

아태기후센터 문수연 박사는 “이번 연구는 최근 9월에도 이례적인 늦더위와 호우가 빈번해지는 원인을 대기 중 전선의 위치 변화를 통해 규명했다는 데 큰 의미가 있다.”라며, “기후변화로 여름철 재해가 늦게까지 이어지고 있는 만큼, 이에 대한 대응 체계와 폭염과 집중호우를 함께 대비하는 통합 방재 전략이 필요하다.”고 밝혔다.

[참고 용어 설명]

- ▶ **전선(Front)**: 온도와 습도 등 성질이 서로 다른 두 공기 덩어리가 만나는 경계면. 주로 차가운 공기와 따뜻하고 습한 공기가 충돌하며, 이 경계를 따라 강한 비구름이 발달해 많은 비를 뿌린다.
- ▶ **습구흑구온도(WBGT, 열 스트레스 지수)**: 단순히 기온만 재는 것이 아니라 습도, 태양 복사열, 바람 등을 모두 반영해 사람의 몸이 실제로 받는 열기와 더위 부담을 수치화한 지표. 기온이 같아도 습도가 높으면 땀이 마르지 않아 열 스트레스가 급격히 커진다.
- ▶ **재분석자료**: 과거의 관측 데이터(기상관측소, 위성, 레이더 등)를 최신 기후 모델에 결합해, 과거 지구의 날씨와 기후 상태를 빈틈없이 복원해 낸 고해상도 기후 데이터. 유럽중기예보센터(ECMWF)의 ERA5를 사용하였다.

첨부 : 논문 핵심 정리

첨부 : 논문 핵심 정리

- 최근 여름철 전선*의 북상과 함께 강수와 열스트레스 분포도 달라지고 있으며, 특히 두 현상이 함께 나타나는 복합재난으로 이어질 위험에 주목할 필요가 있다는 분석 결과를 발표

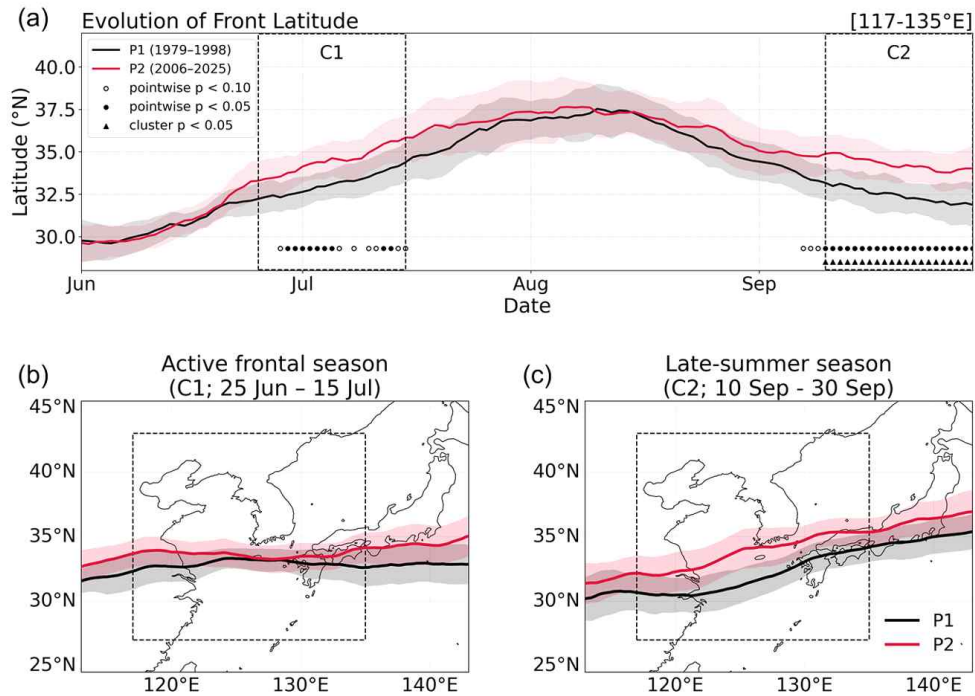
* 전선: 온도, 습도 등의 성질이 서로 다른 두 기단이 만날 때 형성되는 경계. 여름철 우리나라에 영향을 미치는 정체전선이 대표적. 본 연구는 여름철(6~9월) 동아시아 지역에서 발생하는 모든 전선을 종합적으로 분석함

- 최근 여름철에는 집중호우와 폭염·열대야 등 강수와 고온 현상이 한 계절 내 동시에 또는 연이어 나타나면서, 이들 현상을 함께 고려한 복합적인 기후 위험에 대한 관심이 높아지고 있음
- 선행 연구에서는 지구온난화로 인해 동아시아 여름철 전선에 동반되는 강수(이하 '전선성 강수')가 강화됨**을 보인 바 있으나, 전선 자체의 위치가 장기적으로 어떻게 변화하는지에 대해서는 충분히 알려지지 않음

** Moon et al. (2023)은 온실가스 증가로 인하여 여름철 전선에 동반되는 호우의 강도가 약 +6% 증가하였음을 밝힘

Moon S, Utsumi N, Jeong J-H, Yoon J-H, Wang S-Y S, Shiogama H, and Kim H (2023) Anthropogenic warming induced intensification of summer monsoon frontal precipitation over East Asia, *Sci Adv*, **9**, eadh4195

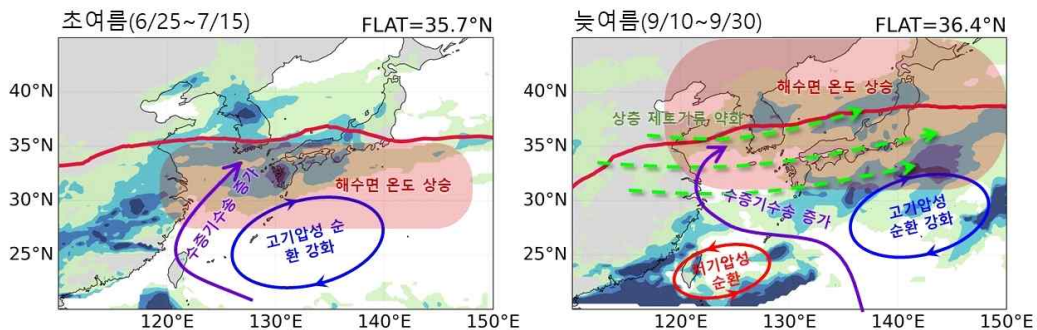
- 유럽중기예보센터(ECMWF)의 ERA5 재분석자료를 이용해 1979~2025년 6~9월의 동아시아 여름철 전선의 위치 변화를 분석함. 그 결과, 전선의 평균 위치는 10년당 약 0.33°씩 북쪽으로 이동하는 장기적인 추세를 보임
- 최근 20년(2006~2025)의 전선 위치를 과거 20년(1979~1998)과 비교한 결과, 장마철 시기(6월 25일~7월 15일)에 약 1.32°(~ 146km), 늦여름(9월 10~30일)에 약 1.92°(~ 213km) 북상한 것으로 나타남 (그림 1)



<그림 1. 과거와 최근 기후의 여름철 전선 위치 변화 비교>

- ※ 검정 실선: 과거기후(1979-1998)의 평균 전선 위치
- ※ 빨간 실선: 최근기후(2006-2025)의 평균 전선 위치
- ※ 동그라미: 최근기후에서 전선이 과거보다 유의하게 북쪽에 위치한 시기
- ※ 검정 점선: 본 연구에서 중점적으로 분석한 장마철 시기(6/25-7/15)와 늦여름(9/10-30)
- ※ 최근 20년의 전선 위치가 과거 20년보다 통계적으로 유의하게 북쪽에 위치한 기간 가운데, 여름철 전선 활동이 가장 활발한 시기를 'C1(6/25~7/15; 장마철)', 전선의 북상 폭이 가장 크게 나타나는 시기를 'C2(9/10~30; 늦여름)'로 정의.

- 여름철 전선의 북상과 함께 대기·해양 환경에도 시기별 차이가 확인됨 (그림 2)
 - (장마철) 중국 양쯔강 하구에서 일본 남쪽 해상에 이르는 동아시아 주변 해역의 높은 해수면 온도와 강화된 수증기 수송이 전선 북상과 함께 나타남
 - (늦여름) 한반도 주변에서 일본 동쪽에 이르는 해역의 높은 해수면 온도, 고기압성 순환 강화, 상층 제트 약화 및 수증기 수송 증가가 전선 북상과 연관



<그림 2. 여름철 전선 북상과 관련된 주요 메커니즘 모식도>

- ※ (왼쪽) 장마철(6/25~7/15), (오른쪽) 늦여름(9/10~30) 기간에 대한 최근(2006-2025) 기간의 전선(빨간실선) 및 전선성 강수(shading)의 합성장
- ※ FLAT: 해당 기간의 평균적인 전선의 위치

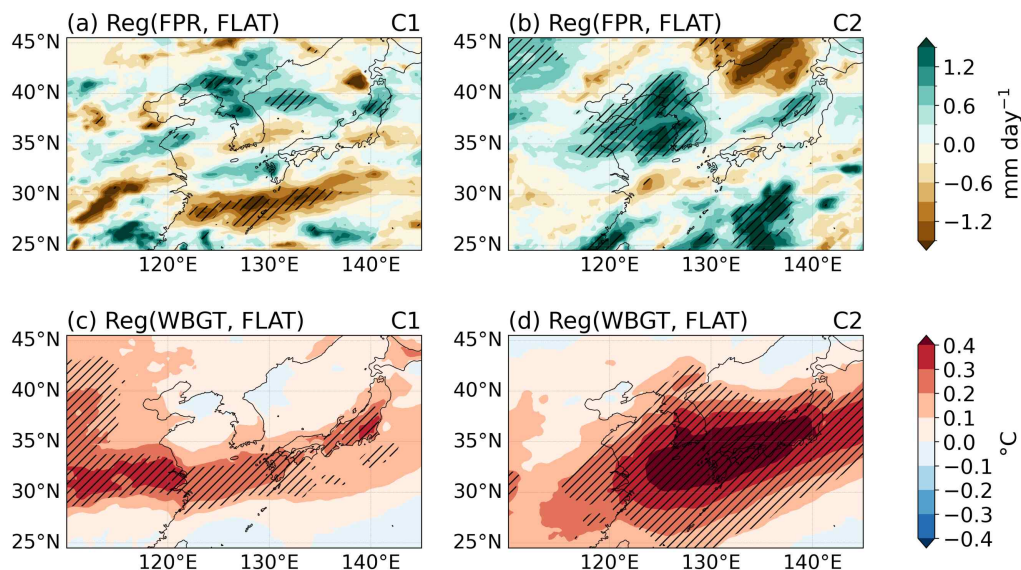
□ 여름철 전선의 북상에 따라 우리나라 강수강도와 열스트레스 분포의 지역적 차이가 뚜렷하게 나타남 (그림 3)

○ (장마철) 우리나라 중부지방에서 전선성 강수강도 증가, 남부지방에서 열스트레스 증가 경향

○ (늦여름) 우리나라에서 전선성 강수와 열스트레스가 함께 증가하는 양상이 뚜렷

※ 늦여름 전선 위치 상위 25% 연도는 하위 25% 연도에 비해 강수와 WBGT가 함께 기준값(50~66 백분위)을 넘는 날의 비율이 약 8~19배 높았으며, 장기 추세 제거 후에도 약 3~9배 높게 나타남

⇒ 이러한 결과는 전선의 위치에 따라 강수와 고온이 나타나는 지역이 달라질 수 있음을 보여주며, 지역별 호우와 폭염 위험을 함께 고려할 필요가 있음을 시사함



<그림 3. 여름철 전선이 북쪽에 위치할 때 나타나는 전선성 강수와 열스트레스 변화>

※ FLAT: 동아시아 여름철 전선의 대표 위치를 나타내는 위도 지수

※ FPR: Frontal precipitation, 전선성 강수

※ WBGT: Wet-bulb globe temperature, 습구흑구온도. 기온과 습도를 함께 고려한 열스트레스 지표

※ 빗금(Hatch): 95% 신뢰수준에서 통계적으로 유의한 지역

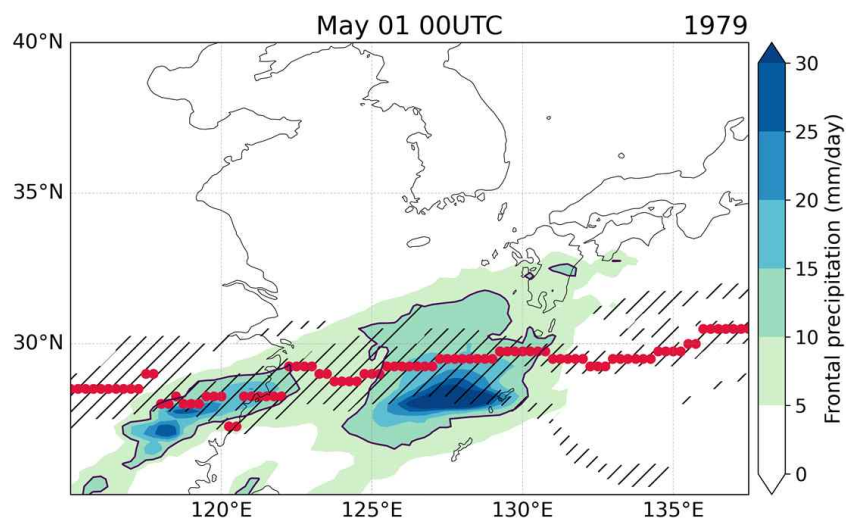
※ C1(장마철): 6/25-7/15, C2(늦여름): 9/10-30

※ 전선이 북쪽으로 이동할 때 전선성 강수와 열스트레스가 어떻게 달라지는지 회귀분석한 결과

붙임 1. 전선 위치 인덱스 정의 및 산출 방법

붙임 2. 전선 북진 특성 및 영향 관련 상세 분석 내용

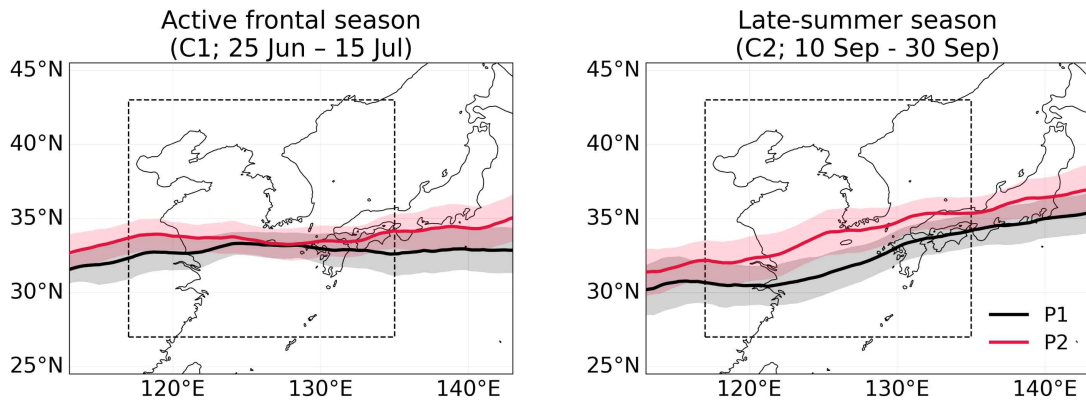
- 동아시아 여름철 전선의 위치를 객관적으로 파악하기 위해, 대기 하층에서 온도와 습도의 차이가 크게 나타나는 영역을 찾아 전선의 위치를 산출함
 - (1) 전선대 탐지: 대기 하층(850hPa)의 상당온위 남북 경도 절대값 0.04K/km 이상이면서 최솟값을 기준으로, 경계면 변화가 가장 가파르게 나타나는 영역을 전선대로 탐지
 - (2) 대표 전선 선별: 탐지된 전선 영역 중 동서 방향의 길이가 가장 길게 발달한 전선을 해당 시점의 대표 전선으로 정의
 - (3) 전선 위치 인덱스 산출: 탐지된 전선의 위도의 중앙값을 계산하여, 해당 날짜의 전선이 대표적으로 어느 위도에 위치하는지를 하나의 값으로 나타냄
- ※ 전선성 강수는 각 날짜에 탐지된 전선으로부터 500km 이내의 격자에 내린 강수로 정의



<전선 탐지>

- ※ 검정 사선: 상당온위 남북경도의 절대값이 0.04 K/km 이상인 영역
- ※ 빨강 동그라미: 경도별로 탐지된 전선의 위치
- ※ 음영: 전선성 강수

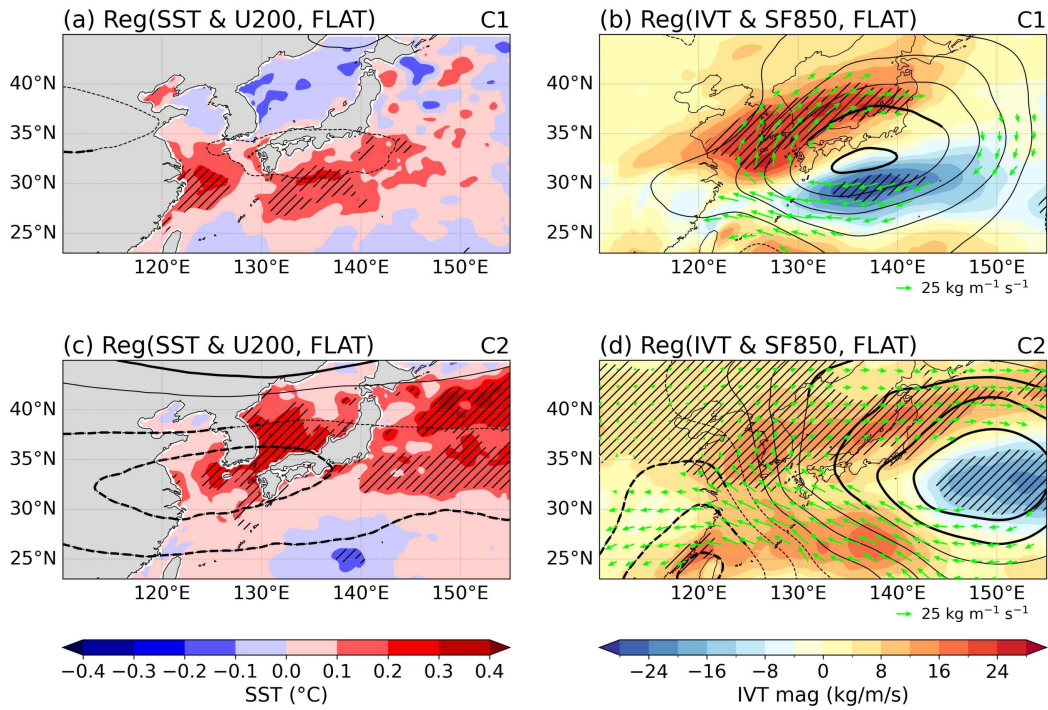
- 과거기후(1979~1998년)와 최근기후(2006~2025년)의 전선 위치를 비교한 결과 최근 동아시아 여름철 전선이 전반적으로 북쪽에 위치하는 것으로 나타나며, 특히 늦여름에 전선의 북상이 동아시아 전반에 뚜렷하게 나타남



<최근기후에서 뚜렷하게 나타나는 동아시아 여름철 전선의 북상>

- ※ 검정 실선: 과거기후(1979~1998년, P1)의 평균 전선 위치
- ※ 빨간 실선: 최근기후(2006~2025년, P2)의 평균 전선 위치
- ※ 음영: 연도별 전선 위치의 변동 범위
- ※ 점선 박스: 동아시아 전선 위치 분석 영역

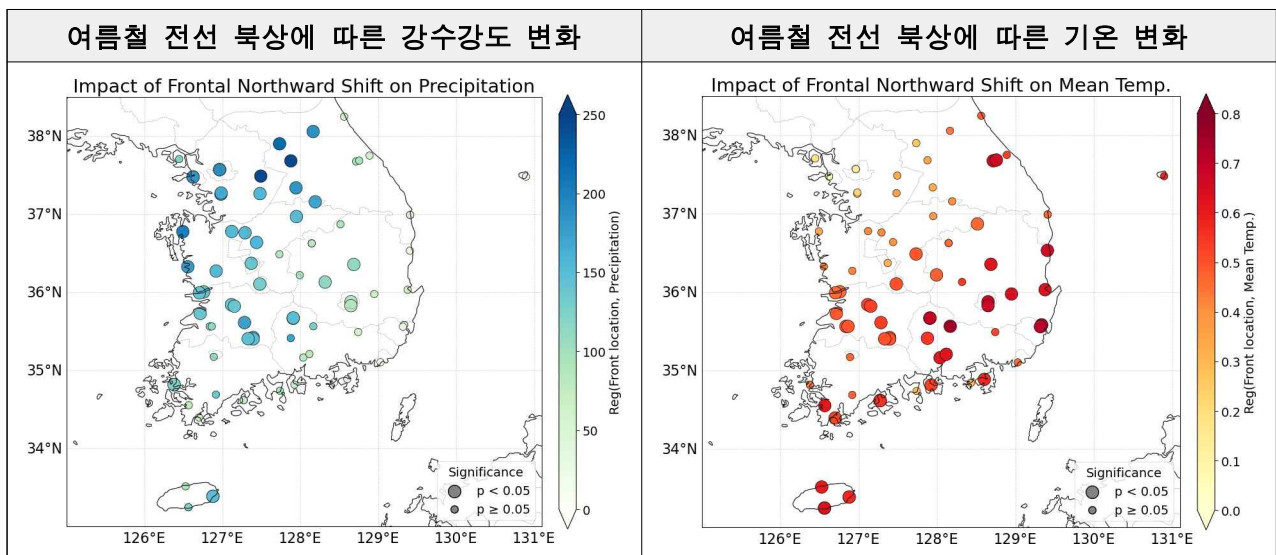
- 전선의 북상과 관련한 대기·해양 환경은 장마철과 늦여름이 구분됨
 - (장마철) 동아시아 주변 해역의 높은 해수면 온도와 강화된 수증기 수송이 전선 북상과 함께 나타남
 - (늦여름) 한반도 주변에서 일본 동쪽에 이르는 해역의 높은 해수면 온도, 북서태평양고기압 강화, 상층바람 약화, 수증기 수송 증가가 전선 북상과 연관된 것으로 분석됨



<동아시아 여름철 전선 북상과 관련된 대기·해양 환경 변화>

- ※ (a, c): 전선북상과 관련한 해수면온도(SST, shading) 및 상층제트(U200, contour)의 변화
- ※ (b, d): 전선북상과 관련한 수증기 수송(IVT, shading & vector) 및 하층 대기순환(SF850, contour)의 변화
- ※ C1: 장마철(6/25~7/15), C2: 늦여름(9/10~30)
- ※ 빗금 및 굵은 선: 95% 신뢰수준에서 통계적으로 유의한 지역

- 기상청 종관기상관측자료(ASOS)를 이용해 전선위치와 우리나라 강수 및 기온의 관계를 추가로 분석한 결과, 전선이 북쪽에 위치할수록 중부지방은 강수강도가 강화되고, 남부 및 동해안은 기온이 상승하는 경향을 보임



<여름철 전선 북상에 따른 강수강도 및 기온 변화 특성>

- ※ 기상청 종관기상관측자료(ASOS) 자료(1979-2024) 이용
- ※ 통계적 유의성은 동그라미 크기로 나타냄

[참고문헌] Moon, S, O. Kim, H. Kim, (2026): Recent change in northward migration of the East Asian summer front and increased compound wet-hot conditions. npj Climate and Atmospheric Science, <https://doi.org/10.1038/s41612-026-01570-x>.