서론: 데이터 정의 및 방법론

보고서 개요 및 데이터 출처

본 보고서는 서울의 기후 변화 양상을 파악하고, 장기적인 추세 분석을 통해 도시 적응 정책의 기초 자료를 제공하기 위해 작성되었습니다. 기후 변화의 영향은 단순한 일기 예보의 범주를 넘어, 에너지 안보, 재해 안전, 공공 보건 등 사회 전반에 걸쳐 복합적이고 구조적인 영향을 미칩니다. 따라서 이러한 영향을 정량적으로 평가하고 미래의 위험 요소를 사전에 예측하기 위해서는, 단일 관측소의 국지적 데이터뿐만 아니라 전 지구적 모델과 결합된 고해상도의 재분석 자료에 대한 정확한 이해와 해석이 필수적입니다. 본 장에서는 보고서의 분석 근간이 된 데이터의 성격, 공간 해상도, 그리고 실제 지상 관측값과의 차이점을 명확히 기술하여, 이후 장에서 제시되는 통계적 경향과 극한 기상 현상의 분석 결과를 올바르게 해석할 수 있는 기준을 마련합니다.

1995.01.01 ~ 2024.12.31

데이터 기간 (총 10,958일치)

기온 / 강수 / 적설

주요 분석 변수 (°C, mm, cm)

ERA5 재분석 자료의 성격과 신뢰성

본 보고서에서 사용된 핵심 데이터는 유럽중기예보센터(ECMWF)가 제공하는 5세대 전 지구 기후 대기 재분석 자료인 ERA5입니다[5]. 재분석(Reanalysis)은 과거 수십 년간 전 세계 곳곳에서 수집된 다양한 기상 관측 자료(위성, 라디오존데, 해양 부이, 지상 관측소 등)를 현대의 수치 예보 모델에 동화시켜 생성한 일관된 데이터셋입니다. 즉, ERA5는 특정 시점의 '실제 측정값' 그 자체라기보다, 방대한 관측 데이터를 바탕으로 물리 법칙에 따라 다시 계산된 '모델 기반 추정치'입니다. 이는 전 세계 어디서나 동일한 기준으로 산출되었기 때문에, 지역별 편차가 없는 장기적인 기후 추세 분석이나 연도 간 비교에는 매우 유용한 도구로 작용합니다.

특히 Open-Meteo API를 통해 접근 가능한 ERA5 Daily Aggregates는 2m 기온, 총 강수량, 지표 기압 등 주요 기후 매개변수에 대해 일별 집계 값을 제공합니다[5]. 일일 최저 및 최고 기온 역시 시간별 2m 기온 데이터를 기반으로 계산되었으며, 강수량은 일일 합계 형태로 산출됩니다. 이러한 일일 단위 데이터는 1940년부터 현재까지 연속적으로 구축되어 있어, 1995년부터 2024년까지 약 30년간의 서울 지역 기후 변화를 추적하는 데 적합한 기반 자료가 됩니다. 다만, 재분석 자료의 가장 큰 강

점이면서도 동시에 한계가 되는 점은, 이 데이터가 '공간 평균'이라는 점입니다. ERA5는 전 지구적으로 약 31km(0.25°) 크기의 격자(Grid Cell)를 기준으로 값을 산출하며, 해당 격자 내에 위치한 산맥, 해안선, 도시 밀집 지역 등을 모두 평균화하여 하나의 값으로 도출합니다.

지상 관측(ASOS)과의 차이 및 해석의 한계

본 보고서의 분석 결과가 기상청(KMA) ASOS(Automated Synoptic Observing System) 자동 기상 관측소에서 직접 측정된 지상 온도나 강수량과 완전히 동일하다고 보아서는 안 됩니다. ASOS는 지상에서 센서를 통해 실제로 측정된 '관측값(Observation)'이며, ERA5는 이를 모델링한 '추정치'입니다. 두 자료 간의 상관관계는 일반적으로 높게 나타나지만(특히 여름과 겨울의 계절 변동성을 가진 전체 기간에서 R=0.99에 근접한다는 연구 결과가 있음), 개별 일자의 미세한 차이는 불가피하게 존재합니다[2].
가장 큰 차이를 보이는 부분은 지형 효과(Terrain Effect)와 극한 값의 정확도입니다. ERA5 격자 내에는 고도가 다른 산지와 평지가 혼재할 수 있으며, 이 경우 모델은 해당 지역의 평균적인 온도를 산출하게 됩니다. 반면, ASOS 관측소는 특정한 고도와 지형을 가진 지점의 값을 기록하므로, 산악 지대나 해안가 근처의 관측소라면 ERA5 데이터와 다소 큰 오차를 보일 수 있습니다. 또한, 국지성 강한 소나기나 번개와 같은 작은 규모의 강수는 ERA5 격자 내에서 넓게 퍼져버리는(Smeared) 경향이 있어, 실제 지상에서 측정한 최대 강수량보다 낮게 나타나는 경우가 많습니다. 적설 심도의 경우에도, 중·저해상도 자료인 ERA5-Land나 MERRA-2 등은 ASOS 관측값 대비 과소산정되거나 과대산정되는 편차가 발생할 수 있으며, LDAPS와 같은 고해상도 지역 모델에 비해 상대적인 적합성이 낮은 것으로 평가되기도 합니다[6].

> **해석 주의사항**
>
> 본 보고서에서 제시된 '폭염일', '열대야', '호우' 등의 빈도는 ERA5 모델이 산출한 일일 최고/최저 기온과 총 강수량을 기준으로 정의된 것입니다. 따라서 특정 지역의 극단적인 국지성 폭우나 도심지의 열섬 현상으로 인한 추가적인 고온이 ASOS 관측값만큼 반영되지 않았을 가능성이 있습니다. 본 데이터는 개별 사건의 정확도보다는 장기적인 '추세'와 '변동성'을 파악하는 데 초점이 맞춰져 있음을 유념해야 합니다.

장기 추세 분석용 도구로서의 가치

그럼에도 불구하고, ERA5 재분석 자료가 개별 날의 날씨를 완벽하게 재현하지는 못하더라도, 기후 변화 분석에는 여전히 가장 신뢰할 수 있는 자료 중 하나입니다. 과거 위성이 본격적으로 관측되기 이전(약 1979년 이전)에는 관측 자료가 턱없이 부족했지만, ERA5는 현대 모델을 사용하여 과거의 기상

상황을 다시 계산했기 때문에 시간 축을 따라 일관된 품질을 유지합니다. 이는 1995년부터 2024년까지의 30년간 데이터가 서로 다른 측정 장비나 관측 방식의 편차 없이 통일된 기준으로 비교될 수 있음을 의미합니다.

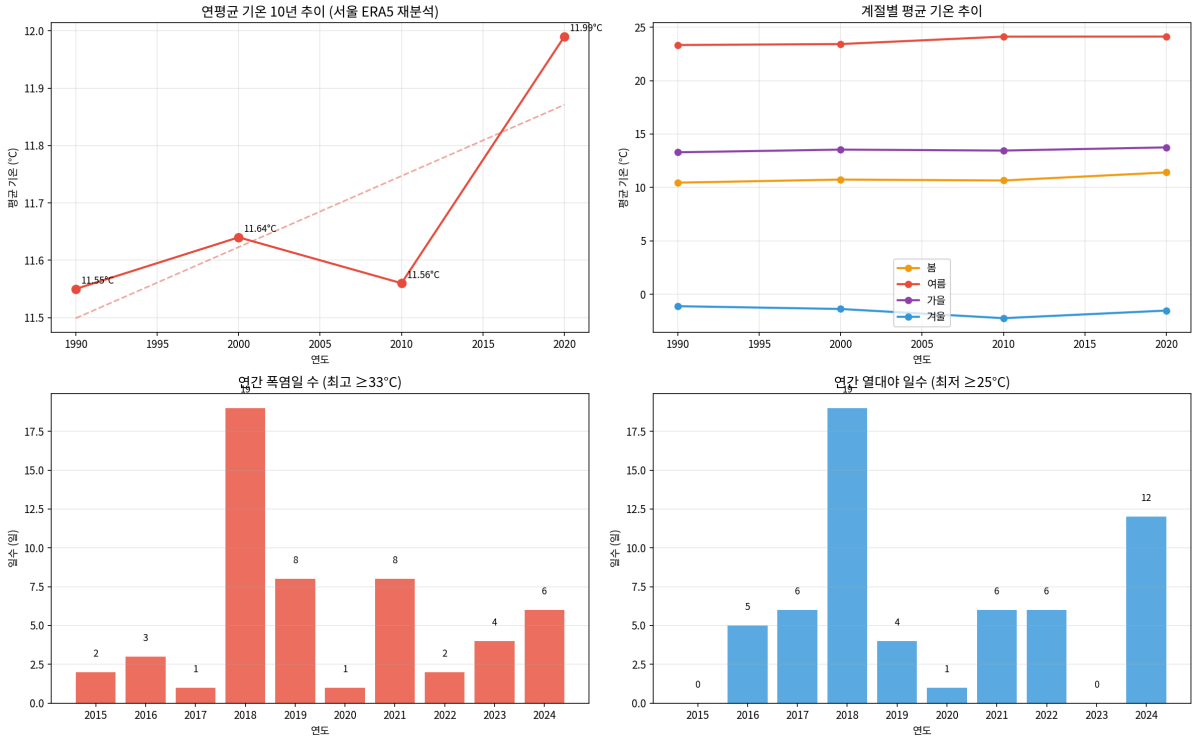
따라서 본 보고서가 제시하는 연평균 기온의 상승률(+0.0124°C/10년)이나 여름철 집중 가열 현상(+0.0307°C/10년)은, 서울의 특정 관측소가 기록한 숫자가 아니라, 전 지구적 모델이 포착한 광역적인 기후 시스템의 변화 궤적을 나타냅니다. 이러한 거시적 추세를 인정하면서도, 구체적인 도시 계획이나 냉방 수요 관리 정책을 수립할 때에는 향후 기상청의 공식 관측 자료와의 교차 검증(Cross-validation) 및 고해상도 지역 기후 모델(Local Climate Model) 활용이 병행되어야 할 것입니다.

본 보고서의 모든 통계적 유의성 판단(p-value 등)은 이러한 재분석 자료의 특성과 불확실성을 고려하여 해석됨을 명시합니다.

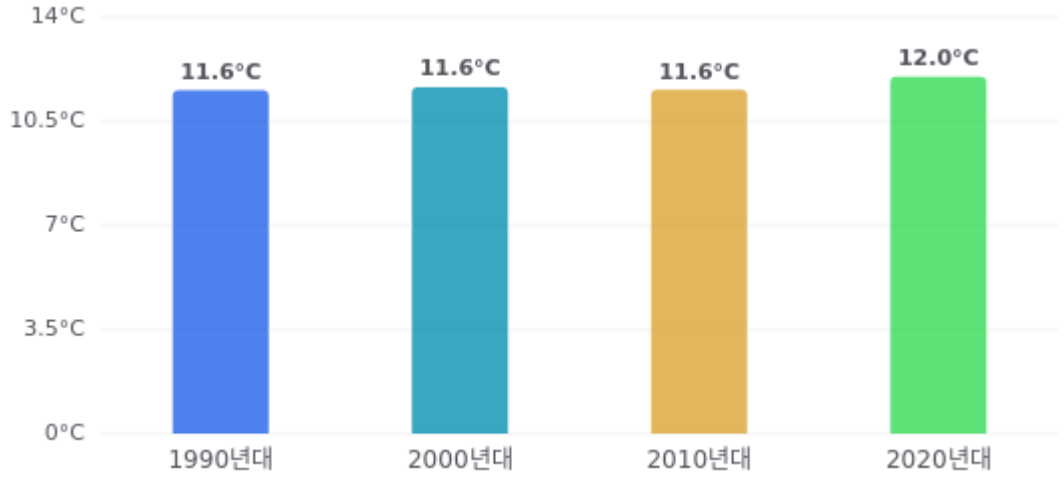
기온 변화 분석: 연평균 및 계절별

연평균 기온 추이 및 통계적 경향

1995년부터 2024년까지 서울의 연평균 기온은 10년 단위별로 뚜렷한 변동 양상을 보였다. 전체 기간을 관측한 ERA5 재분석 자료에 따르면, 1990년대는 11.55°C로 시작하여 2000년대에는 11.64°C까지 상승했으나, 2010년대에는 다시 11.56°C로 소폭 하락하는 등 완만한 진동을 보였다. 그러나 2020년대(2020~2024년) 들어 기온은 11.99°C를 기록하며 이전 decade 대비 약 0.43°C 가량 상승했다. 이는 최근 10년 동안 극한 고온 현상이 빈번해졌다는 사실과 맥을 같이하지만, 단일 decade의 급상승이 장기적인 온난화 추세의 확실한 단서인지는 신중한 해석이 요구된다.



서울의 연평균 기온 추이 및 통계적 경향 분석



30년 간의 데이터를 선형 추세선으로 분석한 결과, 서울의 연평균 기온은 10년당 +0.0124°C씩 상승하는 것으로 나타났다. 결정 계수(R^2)는 0.5964이다. 가장 중요한 점은 p-value가 0.2277로, 일반적인 통계적 유의성 기준인 0.05보다 훨씬 높다는 것이다. 이는 해당 기간 동안 관찰된 기온 상승 경향이 우연에 의한 것일 가능성이 매우 크며, 명확한 통계적 유의성을 가진 온난화 추세라고 단정하기 어렵다는 것을 의미한다.

통계적 한계

p=0.2277로 통계적 유의성이 없으므로, "서울의 기온이 명확히 상승하고 있다"고 결론짓기보다는 "관측된 데이터는 완만한 상승 경향을 보이지만, 이는 자연 변동성의 범위 내에 있을 수 있다"고 해석해야 한다. 특히 최근 10년(2020년대)의 11.99°C라는 높은 수치는 단기적인 극값의 영향을 크게 받았을 가능성이 높다.

계절별 온도 변화의 비대칭성

연평균 기온의 통계적 불확실성에도 불구하고, 계절별로 나누어 분석하면 뚜렷한 온난화의 편차가 존재함을 알 수 있다. 여름철은 10년당 +0.0307°C 상승하며 모든 계절 중 가장 빠른 온난화 속도를 보였다. 봄(+0.0278°C/10년)과 가을(+0.0129°C/10년) 또한 상승 경향을 보였으나, 겨울철은 -0.0209°C/10년으로 오히려 소폭 감소하는 역행 양상을 나타냈다. 이러한 계절별 차이는 전 지구적 온난화가 전 계절에 균일하게 발생하지 않으며, 특정 계절(여름)에서는 그 영향이 더 집중적으로 나타난다는 점을 시사한다.

계절	1990년대 평균	2020년대 평균	10년당 변화량	P-VALUE
봄	10.45°C	11.41°C	+0.0278°C	0.1328
여름	23.34°C	24.13°C	+0.0307°C	0.0807
가을	13.29°C	13.75°C	+0.0129°C	0.1333
겨울	-1.12°C	-1.53°C	-0.0209°C	0.4381

위 표에서 볼 수 있듯이, 여름철의 p-value는 0.0807로 여전히 0.05의 유의성 기준을 넘어서지만, 다른 계절에 비해 상대적으로 낮은 값을 보인다. 이는 여름철 기온 상승이 우연일 확률이 낮음을 암시하나, 엄밀한 통계적 검정에서는 여전히 '유의미한 경향'으로 인정받기에는 부족함이 있다. 반면 겨울철의 p-value는 0.4381로 매우 높아, 기온 감소 경향은 거의 확실히 무작위 변동의 범주에 속한다고 판단할 수 있다.

데이터의 해석과 정책적 함의

본 분석에 사용된 ERA5 재분석 자료는 위성 및 관측 자료를 수치 모델에 동화하여 생성한 것이므로, 기상청(KMA) ASOS 지상 관측 값과는 미세한 차이가 있을 수 있다. 그럼에도 불구하고, 2020년대 들어서 서울의 연평균 기온이 11.99°C로 과거 decade들(1990년대 11.55°C, 2000년대

11.64°C, 2010년대 11.56°C) 대비 현저히 높아진 것은 부인하기 어려운 사실이다. 이는 단순한 선형 추세 이상의 국지적·전지구적 열 에너지 축적을 반영한다.
따라서 서울의 기후 변화는 '단순한 직선 상승'이라기보다, 큰 틀에서는 완만한 상승 경향을 유지하면서도 최근 들어 급격한 고온화를 겪는 '변동성 증가'의 형태로 나타나고 있다고 요약할 수 있다. 통계적으로는 명확한 유의성이 확보되지 않았더라도, 체감되는 폭염과 열대야의 증가는 이미 현실화된 사회적 리스크이며, 이에 대한 적응 대책 마련은 늦추어져서는 안 된다.

기온 변화 분석: 연평균 및 계절별

계절별 온도 변화: 여름 집중 가열

전체 기간(1995~2024년)의 연평균 기온 상승폭은 10년당 +0.0124°C로 통계적 유의성이 확보되지 않았다. 그러나 이 미미한 평균치 뒤에는 뚜렷한 '계절별 비대칭성'이 존재한다. 연평균이라는 거시적 수치는 각 계절의 상쇄 효과를 반영할 뿐, 실제 기후 시스템이 겪는 물리적 충격을 온전히 대변하지 못한다. 특히 서울의 기후 구조는 전반적인 평탄함과는 달리, 특정 계절에 치우친 급격한 에너지 축적을 보여주고 있다.

> 핵심 발견
>
> 연평균 상승세와 달리, 계절별 선형 추세 중 가장 높은 상승률은 무려 여름(+0.0307°C/10년)에서 기록되었다. 이는 겨울(-0.0209°C/10년)의 감소 경향과 대비되며, 단순한 지구 온난화가 아닌 '여름 집중 가열' 양상을 보인다.

여름의 가속화 vs 겨울의 변동성

ERA5 재분석 자료의 계절별 회귀 분석을 살펴보면, 여름철 기온 상승률이 다른 계절을 압도하는 것을 확인할 수 있다. 여름은 10년당 +0.0307°C씩 상승했으며, 이는 전체 연평균 상승률(0.0124°C)의 약 2.5배에 달하는 수치이다. 반면 봄(+0.0278°C/10년)과 가을(+0.0129°C/10년)은 그 중간 수준을 보였고, 겨울은 오히려 -0.0209°C/10년의 마이너스 추세를 기록했다.
흥미로운 점은 겨울의 감소 추세가 '냉각화'를 의미하지는 않는다는 사실이다. p-value가 0.4381로 매우 높아 통계적으로 유의미한 냉각 경향이 아니며, 이는 극한 한파의 빈번한 발생 등 고변동성(Volatility)으로 인해 장기 선형 추세선이 왜곡된 결과로 해석해야 한다. 즉, 겨울의 평균값은 낮아졌

으나 극단적인 저온 사건의 변동성은 유지되고 있음을 시사한다. 이에 비해 여름의 상승 추세(p=0.0807)는 비록 0.05의 엄격한 유의수준을 넘지 못했음에도 불구하고, R^2 값이 0.8450으로 매우 높게 나타나 데이터가 직선 상승 모델에 강력하게 부합함을 보여준다.

계절	1990년대 평균	2000년대 평균	2010년대 평균	2020년대 평균
여름	23.34°C	23.43°C	24.12°C	24.13°C

자료: ERA5 재분석 데이터

위 표는 여름철 기온의 상승세를 보여준다. 1990년대 23.34°C였던 여름 평균 기온은 2010년대에 24.12°C로 약 0.8°C 상승했으며, 2020년대 들어서는 24.13°C를 기록하며 증가 추세를 보였다. 이러한 decade 단위의 불연속적인 점프는 선형 추세로는 설명하기 어려운 국지적 열 에너지의 갑작스러운 축적을 암시한다. 특히 2010년대로 넘어가는 구간에서 가장 큰 온도 차이가 발생하였으며, 이는 도시 열섬 효과(UHI)나 대기 순환 패턴의 변화 등이 복합적으로 작용했을 가능성을 시사한다.
이러한 계절별 비대칭성은 기상청(KMA)이 공개한 '우리나라 113년 기후변화 분석 보고서'의 장기 관측 자료와도 맥을 같이한다. 기상청은 1912년부터 1940년까지 '과거 30년'과 1995년부터 2024년까지 '최근 30년'을 비교하면 여름은 25일 길어지고 겨울은 22일 짧아진 것으로 나타났다[1]. 이는 단기(30년) 재분석 자료에서 관찰된 여름의 고온화와 긴밀하게 연결되는 현상으로, 한국은 과거 30년 동안 여름이 123일로 가장 길었으며, 최근 10년(2015~2024년)만 평균을 내면 130일로 더 길었다[1].

도시 열섬과 여름 가열의 증폭

서울과 같은 대도시에서 여름의 집중 가열은 자연적인 기후 변동뿐만 아니라 인위적인 요인과 맞물려 더 빠르게 진행된다.도시 열섬 효과(UHI)은 낮 최고 기온뿐만 아니라 야간 최저 기온을 함께 상승시켜, 밤사이 열기를 식힐 기회를 앗아간다. 국립기상과학원의 연구에 따르면, 도시 지역의 평균 열대야 일수는 비도시 지역보다 2.2배 많았으며, 그 차이는 1970년대 2.2일에서 2020년대 9.1일로 크게 확대되었다[1].
따라서 서울의 여름 기온 상승률(+0.0307°C/10년)은 전 지구적 온난화의 영향만을 반영하는 것이 아니다. 콘크리트와 아스팔트로 덮인 도시 표면이 흡수한 열이 야간에 방출되면서, 데이터상으로도 명확히 드러나는 '여름 집중 가열' 패턴을 형성하고 있는 것이다. 이는 단순히 '날씨가 더워졌다'는 체감을 넘어, 건물 냉방 수요의 폭발적 증가와 에너지 안보에 직결되는 구조적인 문제로 접근해야 함을 의미한다.

분석 요약

계절별 온도 변화의 핵심 차이

여름 (+0.0307°C/10년): 가장 빠른 상승 속도와 높은 R^2(0.8450)를 보여, 신뢰도 높은 가열 경향을 나타냄.

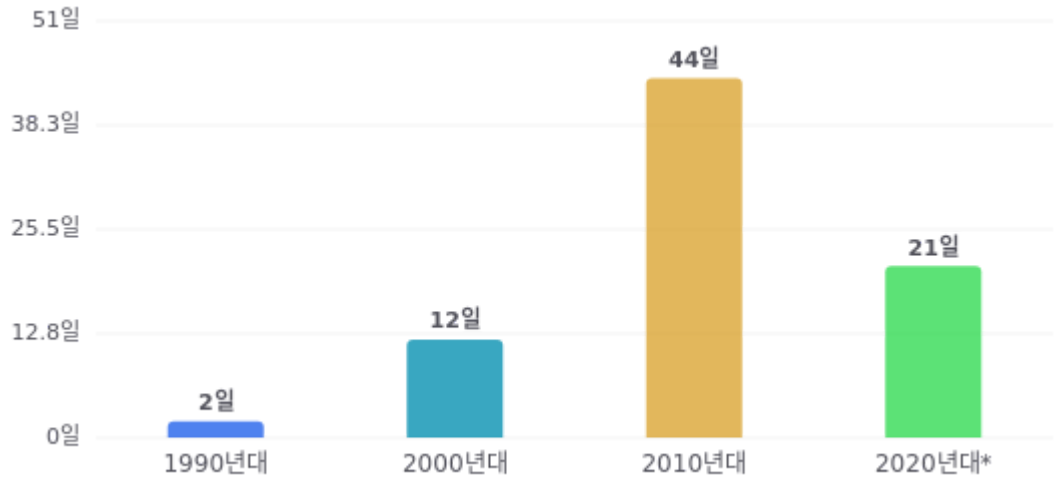
겨울 (-0.0209°C/10년): 평균은 낮아졌으나 p-value(0.4381)가 높아 통계적 유의성이 없으며, 극한 한파 변동성의 영향이 큼.

데이터 한계: ERA5 재분석 자료는 공간 해상도의 한계가 있으나, 장기적인 계절 간 편차(Asymmetry)의 방향성은 신뢰할 만함.

극한 고온 현상: 폭염 및 열대야

폭염일 수 변화: 급증과 변동성

서울의 극한 고온 현상을 정의하는 가장 핵심적인 지표는 일 최고 기온이 33°C 이상인 '폭염일'이다. 본 보고서가 분석한 ERA5 재분석 자료에 따르면, 지난 30년(1995~2024) 동안 서울에서 기록된 폭염일의 수는 폭발적으로 증가했으며, 이는 단순한 평균 기온 상승을 넘어 기후 시스템이 극단적인 상태(extreme state)로 이동하고 있음을 시사한다. 연도별 폭염일 수의 변화 추이는 온난화의 가속화를 명확하게 보여준다. 1990년대에는 연평균 폭염일이 단 2일에 불과했으나, 2000대에 이르러 6배 이상 증가한 12일을 기록했고, 2010년대에는 다시 약 3.7배 가파르게 증가하여 44일에 도달했다.



2020년대(2020~2024)의 경우, 아직 기간이 완전히 경과하지 않은 부분 데이터임에도 불구하고 이미 21일의 폭염일이 발생했다. 만약 향후 몇 년간 2010년대와 유사한 수준의 고온이 지속된다면, 2020년대는 1990년대의 수십 배에 달하는 폭염 일수를 기록할 가능성이 매우 높다. 이러한 급격한 증가는 국제 연구 결과와도 맥을 같이한다. 국제환경개발연구소(IIED)의 터커 랜즈먼 박사는 서울의 30년간 폭염일수 증가율이 무려 7,360%에 달하며, 이는 전 세계 주요 도시 중 가장 가파른 증가율이라고 지적했다[10].

최근 10년의 높은 변동성과 극값 빈도

데케이드별 총합만 보면 폭염이 꾸준히 증가하는 것처럼 보일 수 있으나, 최근 10년(2015~2024)의 연도별 데이터를 살펴보면 폭염 발생이 얼마나 불규칙하고 변동성이 큰지 알 수 있다. 전체 기간을 통틀어 특정 연도의 폭염일 수가 압도적으로 높게 나타나는 '극값(event)'들이 존재하며, 이 극값들이 과거보다 훨씬 더 자주, 그리고 더 강하게 발생하고 있다.

그림: 2018년 기록적 폭염

관측 사상 최악의 폭염, 19일의 기록

최근 10년(2015~2024) 중 가장 많은 폭염일(최고 기온 ≥33°C)을 기록한 해는 2018년으로, 총 19일의 폭염이 발생했다[17]. 2018년 여름은 기상 관측 111년 만의 최악의 폭염으로 기록되었다. 특히 8월 1일 서울은 39.6°C를 기록하며 종전 기록(1994년 38.4°C)을 1.2도 뛰어넘었고, 전국 평균 폭염일수는 평년의 3배 이상인 31.4일로 역대 최다를 기록했다[19][21].

2018년의 이러한 극한 현상은 북태평양고기압과 상층의 티베트고기압이 강력하게 합세하면서 형성된 '열돔(heat dome)' 효과 때문이었다. 견고한 고기압이 한반도에 자리 잡으면서 맑은 하늘 아래 강한 일사량이 지표면을 가열했고, 이로 인해 육지는 물론 주변 바다 수온까지 상승하여 밤사이 최저기온이 떨어지지 않는 초열대야 현상이 동반되었다[19][21]. 실제로 2018년 서울에서는 최저기온이 30°C 이상을 두 차례나 기록하기도 했다.

반면, 같은 2010년대 후반인 2020년이나 2022년 등 다른 해들은 상대적으로 폭염일 수가 적었다. 이러한 연도 간 격차는 서울의 폭염이 선형적으로 증가하기보다는, 특정 조건(강한 고기압 세력, 해수면 온도 상승 등)이 맞물릴 때 극단적으로 치솟는 '변동성(volatility)'을 띠고 있음을 의미한다. 즉, 평균적인 날씨는 점점 더워지고 있지만, 그 사이에 상대적으로 덜 더운 해가 존재한다는 점에서 연도별 리스크 관리가 중요해지고 있다.

건강 및 사회경제적 파급효과

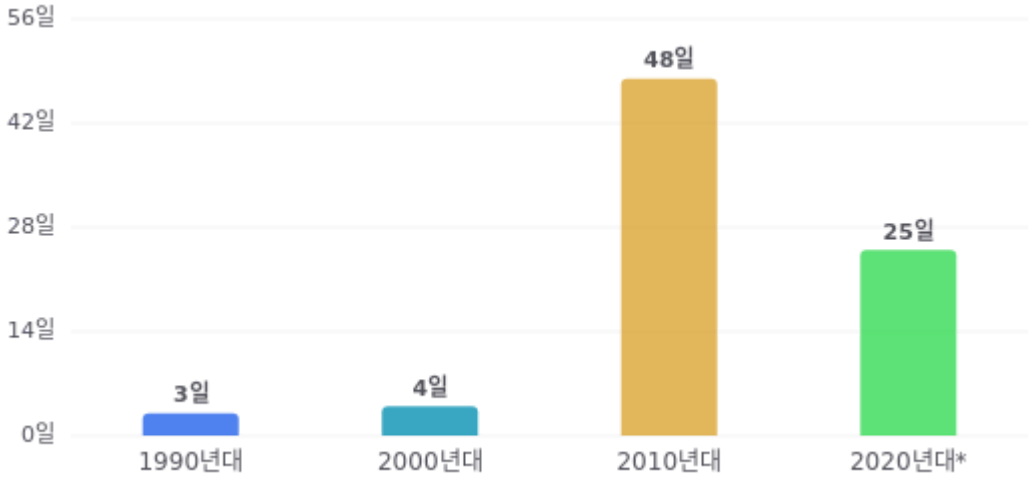
폭염일 수의 증가는 단순한 체감 불편을 넘어 심각한 공공 보건 위기로 이어진다. 2018년 Record 폭염 당시 국내 온열질환자는 사망 48명을 포함해 4,526명에 달했으며, 최대 전력 수요 또한 92,478MW를 기록하며 역대 최대치를 경신했다[19]. IIED의 랜즈먼 박사는 "폭염의 부정적인 건강 영향은 젊은이, 노인, 표준 이하의 주택에 거주하는 사람, 시원한 장소(에어컨, 그늘, 녹지)를 이용할 수 없는 사람들에게서 더욱 크게 나타난다"며 사회적 취약 계층의 보호가 시급하다고 강조했다[10].

결론적으로, 서울의 폭염일 수는 1990년대의 미미한 수준에서 2010년대에는 연 40일 가까이 치솟으며 급증세를 보였다. 최근 10년의 데이터는 2018년과 같은 극한의 '블랙 스완'급 사건이 반복될 수 있음을 경고하며, 단순한 평균 기온 관리 차원을 넘어 극한 고온 사상에 대한 인프라 및 대응 체계의 강화가 요구됨을 보여준다.

극한 고온 현상: 폭염 및 열대야

열대야 일수 변화: 도시 열섬 효과

낮 시간대의 최고 기온이 상승하는 것뿐만 아니라, 야간 최저 기온이 25°C 이상을 유지하는 '열대야' 현상의 빈도 급증은 서울의 기후 위기가 단순한 계절적 변화를 넘어 일상적인 열 스트레스로 자리 잡고 있음을 보여준다. ERA5 재분석 자료에 따르면, 서울의 연평균 열대야 일수는 1990년대 3일에서 2000년대 4일로 완만한 증가세를 보이다가, 2010년대에 접어들어 48일로 약 16배 급증했다. 2020년대(2024년까지)는 25일을 기록하며 부분적인 데이터임에도 불구하고 여전히 높은 수준을 유지하고 있다. 이러한 야간 냉각 부재 현상은 단순한 불쾌감을 넘어 에너지 안보와 공공 건강 측면에서 심각한 사회적 비용을 초래한다.



핵심 시사점

열대야 일수의 16배 이상 증가는 도시 열섬(urban heat island, UHI) 효과와 기후변화가 결합된 결과다. 이는 야간의 자연적 냉각 기회를 박탈하여 온열 질환과 냉방 에너지 수요를 동시에 증폭시킨다.

도시 열섬 효과와 야간 고온의 시너지

열대야 현상의 핵심적인 물리적 배경에는 도시 열섬(Urban Heat Island, UHI) 효과가 있다. 도시는 콘크리트, 아스팔트 등 열용량이 큰 인공 구조물로 덮여 있어 낮 동안 축적된 태양 복사 에너지를 밤까지 천천히 방출한다[8]. 또한, 밀집된 건물군으로 인한 풍속 저하와 인간 활동(교통, 산업, 냉방 기기 등)에서 발생하는 인공 열은 야간에 도시 지역의 기온이 주변 농촌이나 교외 지역보다 높게 유지되도록 만든다. 연구에 따르면, 서울과 같은 대도시에서는 폭염 발생 시 도시 열섬 강도(UHII)와 외부 기후의 고온이 시너지(synergy) 효과를 일으켜 체감 온도를 더욱 극대화한다[8]. 특히 2018년 여름에는 서울에서 사상 처음으로 이틀 연속 초열대야(최저기온 30°C 이상)가 관측되며, 이러한 도시 내 고온 스트레스의 극단적인 사례를 보여주었다[20].

ERA5 재분석 자료는 특정 지점의 기상 데이터를 기반으로 하므로 국지적인 열섬 현상의 미세한 차이를 완전히 포착하지 못할 수 있으나, decade별 48일이라는 거시적인 증가는 모델링 추정치임에도 불구하고 도시 환경의 열적 특성이 근본적으로 변했음을 뒷받침한다. 이는 단순히 전 지구적 평균 기온 상승(1990년대 11.55°C → 2020년대 11.99°C)을 넘어서, 도시라는 특수한 공간에서 열이 '갇히는' 구조적 문제가 심화되었음을 의미한다.

건강 리스크와 취약 계층의 노출

열대야 일수의 증가는 인간의 생리적 회복 기회를 차단한다는 점에서 건강 리스크를 높인다. 낮 시간대에는 그늘이나 에어컨 등을 통해 일시적으로 열 스트레스에서 벗어날 수 있으나, 열대야가 지속되는 밤에는 실내 온도가 외부와 비슷하게 유지되거나 오히려 건물의 단열 상태 등에 따라 더 높아질 수 있어 숙면을 방해하고 신체 회복을 어렵게 한다. 질병관리본부의 자료에 따르면, 2015년 전국 폭염 관련 온열질환자 1,056명 중 65세 이상이 280명(27%)을 차지했으며, 연령이 증가할수록 발병률이 뚜렷하게 증가하는 경향을 보였다[9].

열대야가 빈번해지면 노인, 아동, 독거 가구원 등 열 적응 능력이 낮은 취약 계층은 밤낮으로 이어지는 고온에 지속적으로 노출되어 사망률 및 병원 방문율이 증가할 가능성이 크다. 2018년의 경우, 초열대야 현상이 발생한 직후 온열질환자가 역대 최고치를 기록하며 사회적 이슈로 대두되기도 했다[20]. 이는 열대야 일수가 단순한 기상 지표가 아니라 공공 보건 시스템의 부하를 직접적으로 결정하는 변수임을 시사한다.

냉방 에너지 수요의 야간 확장과 전력망 부담

열대야 현상은 냉방 에너지 수요 패턴을 근본적으로 변화시켰다. 과거에는 냉방 수요가 주로 낮 시간대(오전 10시 ~ 오후 6시)에 집중되었다면, 열대야 일수가 48일까지 늘어난 현재는 야간에도 실내 온도가 쾌적한 수준으로 내려가지 않아 냉방 가전의 운전 시간이 연장되고 있다. 2018년 폭염 당시 이동식 에어컨 판매가 전월 대비 1,135% 급증했던 사례는 고온 스트레스가 가정 및 상업 부문의 에너지 소비를 폭발적으로 증가시킬 수 있음을 보여준다[20].

전력 수요의 피크(Peak)가 낮뿐만 아니라 야간으로도 확산되면, 기존에는 낮 시간대 최대 부하를 견디도록 설계된 발전 및 송배전 인프라에 추가적인 부담이 된다. 또한, 야간 냉방 가동 증가는 건물 외벽과 대기 중으로 배출되는 폐열을 증가시켜 다시 도시 열섬 효과를 강화하는 악순환(Feedback Loop)을 유발한다. 따라서 열대야 대응은 개별 가구의 냉방 편의를 넘어, 전력 시스템의 안정성과 도시 전체의 열 순환을 고려한 정책적 접근이 필요한 이유이다.

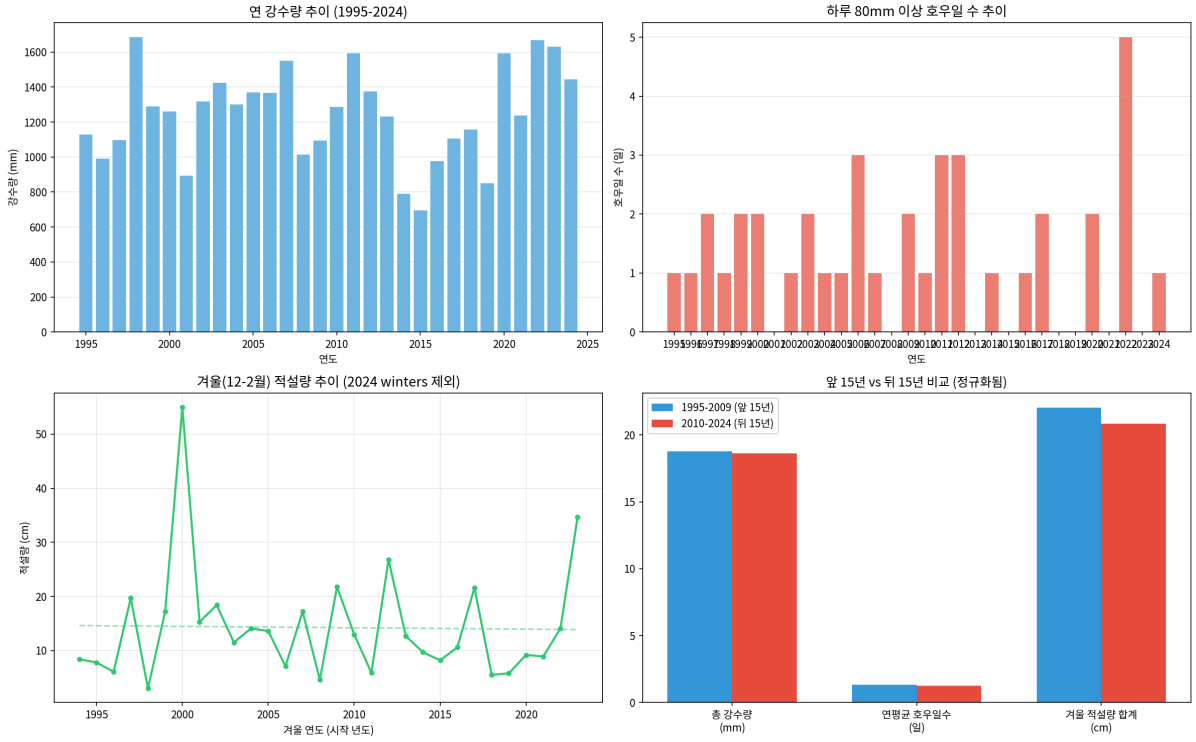
연대	열대야 일 수 (일)	주요 특징 및 사회적 영향
1990년대	3일	관측 가능한 수준의 드문 현상. 냉방 인프라 및 보건 체계의 주요 고려사항이 아님.
2000년대	4일	완만한 증가세. 도시 열섬 효과의 초기 징후 관찰.
2010년대	48일	약 16배 급증. 열대야가 상시화되며 냉방 에너지 수요 및 온열 질환자 증가 본격화.
2020년대*	25일*	*2024년 기준. 부분 데이터임에도 불구하고 여전히 높은 고온 스트레스 지속.

결론적으로, 열대야 일수의 급격한 증가는 기후변화에 따른 기온 상승과 도시 열섬 효과가 결합된 복합적 위기다. 이는 낮 시간대의 폭염 대응을 넘어, 야간의 자연 냉각 기회를 보장하기 위한 도시 녹지 확대, 건축물의 열 반사율 개선, 그리고 전력 및 보건 시스템의 야간 대응력 강화가 시급함을 요구한다.

강수 및 적설 패턴 분석

강수량 변동 및 호우 빈도

연 강수량은 평균 1,247.5mm를 기록했으나, 이는 수십 년간의 극심한 편차를 내포하고 있다. 1998년에는 1,685.0mm의 최다 강수량을 보인 반면, 2015년에는 693.9mm로 최저치를 기록했다. 이러한 연평균 강수량의 선형 추세는 +2.82mm/10년으로 나타나지만, R^2=0.0087, p=0.6248에 불과하여 통계적으로 유의미한 증가나 감소 경향이라고 단정할 수 없다. 즉, 전체적인 강수량의 규모가 체계적으로 늘어나거나 줄어든 것이 아니라, 매년 격렬하게 요동치고 있음을 의미한다.



서울의 강수량 변동 및 호우 빈도 분석

1,247.5mm
평균 연 강수량
R^2=0.0087, p=0.6248

1,685.0mm
최다 연 강수량
1998년 발생

693.9mm
최소 연 강수량
2015년 발생

5일
최다 호우일 수
2022년 발생

호우 빈도의 안정성과 강도의 집중화

연 강수량이 크게 변동하는 현상은 단순한 총량의 불균형이 아니라, 강수가 '집중 호우' 형태로 치우쳐서 내리는 양상과 연관이 깊다. 하루 80mm 이상의 극한 강수를 동반한 호우일 수는 전체 기간 동안 연평균 1.3일을 기록했다. 최근 10년(2015~2024년)의 평균 역시 1.1일로, 과거와 비교해 빈도 면에서 큰 폭증은 보이지 않았다. 이를 더 긴 주기로 나누어 살펴보면, 앞 15년(1995~2009년) 동안 호우일 수는 총 20일이었고, 뒤 15년(2010~2024년)에는 19일이었다. 빈도 자체가 급격히 늘어났다고 보기 어렵다는 점은 통계적 결과로도 뒷받침된다.

그러나 빈도가 비슷하다는 사실만으로 안도해서는 안 된다. 오히려 관측된 데이터는 '빈도는 유지되는데 한 번 내릴 때의 강도가 세지는' 패턴을 시사한다. 2022년에는 무려 5일의 호우일 수가 기록되어 단일 연도 중 최다를 달성했다. 이는 짧은 시간 내에 막대한 양의 비가 집중됨으로써 기존 인프라의 처

리 능력을 초과하거나 도시 침수 피해를 유발할 가능성을 높인다. 특히 한반도에서는 온난화로 인해 대기 중 수증기량이 증가하면서, 강수는 고르게 분배되기보다 특정 시기에 폭우로 몰리는 경향이 강화되고 있다.

> **분석 인사이트**
>
> 연 강수량의 통계적 유의성 부재(p=0.6248)는 기후 변화가 '전체량 증가'가 아닌 '극한 현상의 심화'로 나타날 수 있음을 보여준다. 따라서 정책적 대응 또한 총량 조절보다는 집중 호우에 따른 재해 안전망 구축에 초점을 맞춰야 한다.

계절별 강수 패턴과 미래 전망

계절별로 볼 때 여름철 강수량은 장기적으로 증가 추세를 보였다. 1912년부터 2024년까지의 113년 자료를 보면, 여름철 강수량은 10년당 +11.31mm 증가했으며, 최근 30년(1995~2024년) 사이에도 과거 30년에 비해 107.1mm 많은 강수량을 기록했다[12]. 반면 봄과 겨울철 강수량은 뚜렷한 증가세가 없거나 오히려 소폭 감소하는 경향을 보였다. 이러한 계절별 불균형은 여름철 집중 호우 일수가 다른 계절에 비해 훨씬 높게 나타나는 구조적 원인이 된다.

환경부와 기상청이 발간한 '한국 기후위기 평가보고서 2025'에서도 한반도의 온난화가 지속될수록 집중호우 등 기상 재해가 증가할 것으로 전망된다[27]. 태풍의 극한강수 영역이 확대되고 초강력 태풍의 발생 확률이 높아짐에 따라, 향후 10년 후에도 현재와 유사한 수준의 호우일 수(연평균 1~2일)가 유지되거나, 그 안에서의 최대 강수량이 더욱 치솟을 수 있다. 이는 기존의 배수 설계 기준이나 댐 관리 방식을 재검토해야 할 필요성을 제기한다.

구분	값	비고
평균 연 강수량	1,247.5 mm	선형 추세: +2.82mm/10년 (유의성 없음)
최대 연 강수량	1,685.0 mm	1998년 발생
최소 연 강수량	693.9 mm	2015년 발생
연평균 호우일 수	1.3 일	하루 80mm 이상 기준
최근 10년 호우일 수	1.1 일	2015~2024년 평균
최다 호우일 수 기록	5 일	2022년

자료: ECMWF ERA5 재분석 자료 및 기상청 ASOS 관측값

강수 및 적설 패턴 분석

겨울 적설량 변화: 불규칙성 증가

연 강수량과 집중 호우의 빈도 분석에 이어, 본 절에서는 계절적 특성이 뚜렷한 겨울철 강수의 형태와 양을 살펴본다. 특히 눈은 기온에 매우 민감하게 반응하는 상변화 물질로, 온난화 시대에 그 양과 분포는 단순한 감소 이상의 의미를 지닌다. ERA5 재분석 자료에 기반한 서울 지역의 겨울 적설량(12월~2월 합계) 추이는 전반적인 감소 경향을 보이지만, 통계적으로는 유의미한 선형 추세가 확인되지 않는다. 이는 겨울이 '눈의 계절'에서 '불확실성의 계절'로 변모하고 있음을 시사한다.

핵심 수치

220.3 cm
1995-2009 평균 적설량

208.2 cm
2010-2024 평균 적설량

p = 0.9106
선형 추세 유의확률 (유의성 없음)

적설량 변동성과 통계적 한계

1995년부터 2024년까지의 데이터를 두 개의 15년 구간으로 나누어 비교했을 때, 첫 번째 기간(1995-2009)의 겨울 적설량 합계는 220.3cm를 기록했다. 반면, 최근 15년(2010-2024)에는 이 수치가 208.2cm로 약 12cm 가량 감소했다. 직관적으로 보면 눈에 대한 데이터가 줄어드는 것은 당연해 보인다. 그러나 장기적인 선형 회귀 분석 결과는 이러한 표면적인 차이를 다르게 해석하도록 요구한다. 전체 30년간의 적설량 변화를 기울기(Slope)로 나타낸 값은 -0.03 cm/10년이며, 이때의 p-value는 0.9106이다.

p-value가 0.91이라는 것은, 관측된 적설량의 변화가 우연이나 자연 변동성에 의해 발생할 확률이 91%에 달한다는 것을 의미한다. 즉, "적설량이 감소하고 있다"는 통계적 추세는 사실상 존재하지 않으며, 단순히 데이터의 잡음(noise) 범위 내에서 변동한다고 보는 것이 타당하다. R^2 값 또한 0.0005

로 거의 제곱근 계수가 없는 상태이므로, 시간의 흐름이 적설량 감소를 설명하는 요인이 될 수 없다. 이는 여름철 기온 상승(+0.0307°C/10년)이 뚜렷한 경향을 보였던 것과 대조적이다. 겨울철 적설량은 특정 방향으로 단단히 고정되지 않은 채, 해마다 격렬하게 요동치고 있는 것이다.

양보다 질: 극단성과 강설 속도

통계적으로 유의미한 총량 감소가 부인되더라도, 겨울 강수의 '질(Quality)' 측면에서는 중대한 변화가 포착된다. 기후 과학계는 이를 "극단성의 증폭(Intensification of Extremes)"이라고 정의한다. 이는 평균값(Average)의 변화보다 이상값(Extreme Value)의 변화가 더 크다는 개념으로, 겨울이 따뜻해짐에도 불구하고 눈이 내릴 때는 단시간에 폭설이 쏟아지는 현상이 빈번해졌음을 뜻한다[15].
이러한 현상의 핵심 메커니즘은 기온 역전과 해수면 온도(SST)의 상승에 있다. 한반도 겨울 폭설의 진원지는 동해다. 동해는 전 세계적으로 드물게 겨울철 냉각이 느린 바다로, 쓰시마 난류와 대마 난류가 따뜻한 해수를 공급한다. 온난화로 인해 동해의 수온이 상승하면, 겨울철 북서풍이 이 물을 지나며 대기 중으로 방출하는 수증기의 양이 폭발적으로 증가한다[15]. 이 수증기가 산악 지형을 만나면 구름이 급격히 성장하며 다량의 눈을 내린다.
다만, 기온이 영상 부근에서 오갈 경우 강수는 비로 시작하다가 중층의 찬 공기를 만나 순식간에 눈으로 전환된다. 이때 생성되는 습설(Wet Snow)은 단위 부피당 무게가 무겁고 점성이 높아 도로를 빠르게 마비시킨다. 따라서 과거처럼 고른 양의 눈이 쌓이는 것이 아니라, '빈도는 낮아지지만 강도가 세진' 국지적이고 짧은 폭설이 도시 인프라를 위협하는 구조가 형성되고 있다. 2010년대 이후 서울, 강원, 일본 서해안 등지에서 예상치 못한 대형 폭설이 반복된 배경에는 이러한 물리적 조건이 자리한다[15].

> **미래 전망**
> 기상청의 '기후변화 상황지도' 시나리오에 따르면, 현재 수준의 온실가스 배출이 지속될 경우 2081년부터 서울의 겨울은 연간 12일에 불과할 것으로 예상된다[14]. 반면 저탄소 시나리오 하에서는 겨울이 76일까지 유지되며 계절 순환이 어느 정도 보존된다. 이는 현재의 적설량 불규칙성이 장기적으로 완전한 소멸로 이어질 수 있음을 시사한다.

정책적 함의: 적응의 패러다임 전환

적설량 데이터가 통계적으로 유의미한 감소세를 보이지 않는다고 해서, 겨울 관리 정책이 필요 없다는 결론으로 이어져서는 안 된다. 오히려 '평균 적설량'에 의존하던 기존 대응 체계는 근본적인 재고가 필요하다.

- **대응 기준 강화:** 평년 적설량을 기준으로 설계된 배수로와 제설 장비의 용량은 부족할 수 있다. 적은 양의 눈이라도 단시간에 집중되어 폭설이 발생하면 기능 마비가 일어나므로, '최대 강설 속도'를 기준으로 인프라 안전성을 검증해야 한다.

- **유연한 자원 배치:** 겨울 내내 눈이 계속 내리는 것이 아니라, 며칠 동안 눈이 없다가 하루 만에 30cm가 내리는 패턴이 빈번해졌다. 이에 따라 제설 인력과 장비를 상시 대기시키는 것보다, 예보 정확도에 기반한 유연한 투입 시스템이 효율적이다.
- **습설 대비 노면 처리:** 온난화로 인한 습설 증가는 빙판길보다 미끄럼 방지제 효과가 떨어지는 문제를 야기한다. 아스팔트 흡수열을 이용한 녹빙 시스템이나, 습설 제거에 특화된 새로운 장비 도입이 요구된다.

요약하자면, 겨울 적설량은 '줄어드는 양'보다 '변동하는 패턴'에 주목해야 하는 지표이다.ERA5 재분석 자료는 서울의 겨울이 점점 더 예측 불가능해지고 있으며, 이는 곧 도시 생활의 리스크로 직결됨을 보여준다.

도시 적응 및 정책 시사점

에너지 안보 및 냉방 수요 관리

서울의 여름철 기온 상승과 극한 고온 현상 증가는 도시 에너지 시스템에 중대한 스트레스를 가하고 있다. 연평균 기온은 통계적 유의성은 낮으나 장기적으로 상승세를 보였으며, 특히 여름철 기온 상승률은 계절별 가장 빠른 +0.0307°C/10년의 속도를 기록했다. 이러한 기후 변화는 단순한 체감 온도 변화를 넘어, 건물의 냉방 에너지 수요 급증과 전력망의 피크 부하(peak load) 위협으로 직결된다. 본 장에서는 급변하는 기후 조건에 대응하기 위한 건물 단열 강화, 신재생에너지 기반 분산형 전원 도입, 그리고 그린 인프라 확대 등 다각적인 에너지 안보 전략을 제시한다.

냉방 에너지 수요의 급증과 전력망 취약성

최근 10년(2015~2024년) 동안 서울은 역사적으로 유례없는 폭염과 열대야 증가를 경험했다. 최고기온이 33°C 이상인 폭염일 수는 1990년대 연평균 2일에 불과했으나, 2010년대에는 44일로 약 22배 급증했으며, 2018년에는 단일 연중 19일의 폭염일을 기록했다[17]. 또한 최저 기온이 25°C 이상 유지되는 열대야 일수도 1990년대 3일에서 2010년대 48일로 약 16배 증가했다. 야간 기온이 충분히 하강하지 않는 이러한 환경은 낮 시간대에 축적된 열을 방출하지 못하게 하여, 다음 날의 냉방 부하를 더욱 가중시키는 악순환을 초래한다.

이러한 온도는 냉방 에너지 수요에 직접적인 영향을 미친다. 제주 지역을 대상으로 한 연구에 따르면, 온도와 상대습도 등 기후 요인의 변화는 건물 냉·난방 에너지 수요에 결정적인 변수로 작용하며, 과거의 설계 기준을 무력화시킬 수 있다[11]. 서울 역시 마찬가지다. 에어컨 등 냉방 기기 사용의 증가는 여름철 전력 수요의 피크(피크)를 크게 높이며, 이는 발전소 가동 한계나 송전선로 과부하로 이어져 정전 사고의 위험을 높인다. 즉, 기후 변화는 단순한 환경 문제가 아니라 '에너지 안보'와 직결된 핵심 리스크이다.

건물 에너지 효율 및 단열 강화

냉방 수요를 근본적으로 줄이기 위해서는 건물의 에너지 성능 향상이 필수적이다. 기존 노후 건물의 경우 외벽 단열 성능 저하 및 창호의 밀폐성 부족으로 인해 외부의 열기가 내부로 쉽게 유입된다. 따라서 신규 건축물뿐만 아니라 기존 건물에 대한 에너지 효율 등급 제도 고도화와 리트로핏(에너지 효율 개량 공법) 지원이 시급하다. 단열 재료를 개선하고 Low-E 창호를 설치함으로써 냉방기 작동 시간을 최소화하는 것이 경제적이고 환경적인 해결책이다.

서울시는 2022년 발표한 '서울시 기후변화대응 종합계획' 및 2024년 '탄소중립 녹색성장 기본계획'을 통해 탄소 배출 감소를 위한 다양한 정책을 추진하고 있으나, 여전히 냉방 에너지 소비에 대한 구체적인 인센티브 체계와 규제 강도는 보완되어야 할 부분이 많다[13][22]. 냉방 에너지 사용을 최적화하기 위해 스마트 빌딩 기술과 AI 기반 에너지 관리 기술의 도입을 촉진하고, 에너지 효율 등급이 높은 건물에 대한 세제 혜택이나 인허가 특례 등을 확대해야 한다.

신재생에너지 기반 분산형 전원 도입

냉방 수요 증대로 인한 전력망 부하를 분산시키기 위해서는 중앙 집중식 발전 방식에서 벗어나, 건물 단위 또는 지역 단위의 분산형 전원(분산형 발전) 도입이 필요하다. 지붕 태양광, 소규모 풍력, 지열 히트펌프 등 신재생에너지를 건물에 직접 연계하면, 전력망을 통해 장거리로 전력을 수송하는 손실을 줄이고 피크 타임의 공급 압박을 완화할 수 있다. 제주 지역의 연구 사례에서도 기후정보를 반영한 신재생에너지 연계 운용 시나리오의 중요성이 강조되고 있다[11].

분산형 전원은 정전 시에도 중요 시설의 냉방 작동을 지속시켜 시민의 안전을 보호하는 백업 전원으로서의 역할도 수행한다. 특히 열대야 현상이 빈번해짐에 따라, 야간에도 지속적인 냉방이 필요한 병원이나 노인 요양원 등의 공공시설에는 분산형 전원 설비를 우선적으로 지원해야 한다.

그린 인프라: 쿨루프와 쿨로드 확대

기계적 냉방에 의존하는 것만으로는 에너지 소비를 한계까지 줄일 수 없다. 도시 전체의 열 환경을 개선하여 냉방 필요성 자체를 낮추는 '그린 인프라(그린 인프라)' 구축이 병행되어야 한다. 서울시의 기후위기 적응대책에서도 폭염 완화를 위한 도시 녹화, 수자원 기반 블루인프라, 그리고 그늘 제공 시설 확대를 주요 방안으로 제시하고 있다[23].

구체적으로 옥상 정원이나 쿨루프(반사 코팅 처리 지붕)를 활성화하여 건물의 열 흡수를 줄이는 동시에, 도심지의 대기 온도를 하강시켜야 한다. 도로 및 보도 면적을 그린 스트리트(녹색 거리)로 전환하거나 쿨로드(차도 상부 분무 시설, 그늘막 설치)를 확대하면, 보행자가 느끼는 체감 온도를 크게 낮출 수 있으며, 이는 결과적으로 실내 냉방 설정 온도의 상향 조정(예: 26°C에서 27°C)을 가능하게 하여 에너지 절감으로 이어진다.

> **핵심 시사점**
>
> 기후 변화에 따른 냉방 에너지 수요 증가는 전력망의 물리적 한계를 시험하고 있다. 이를 극복하기 위해서는 (1) 건물의 단열 및 효율 개선을 통한 수요 감소, (2) 신재생에너지 기반 분산형 전원을 통한 공급 안정화, (3) 쿨루프/쿨로드 등 그린 인프라를 통한 도시 열섬 효과 완화를 포함한 통합적인 에너지 안보 전략이 요구된다.

도시 적응 및 정책 시사점

재해 안전 및 인프라 대응

서울의 연 강수량은 평균 1,247.5mm를 기록하며 큰 변동성을 보였으나, 기후 위기가 현실화되면서 '강수량' 자체보다 '강우 강도와 빈도'가 도시 인프라에 치명적인 스트레스로 작용하고 있다. ERA5 재분석 자료에 따르면 하루 80mm 이상의 집중 호우 일수는 전체 기간 연평균 1.3일 수준으로 나타나나, 이는 과거의 설계 기준이 현재의 국지성 폭우를 감당하기에 턱없이 부족함을 의미한다. 2022년에는 하루 80mm 이상 호우가 무려 5일 발생하여 최다 기록을 세웠으며, 이러한 극한 강수 사건은 도시 하천과 하수관을 순식간에 범람시키고 지하 공간 침수를 유발한다. 재난이 더 이상 '예외적 사건'이 아니라 '일상의 인프라 문제'로 자리 잡은 것이다. 본 장에서는 기존 배수 설계 기준의 한계를 지적하고, 스마트 물순환 도시 조성, 투수성 포장 확대, 저류조 확충 등 물리적 인프라 개선 방안과 함께 실시간 재난 알림 서비스의 중요성을 제시한다.

집중 호우와 기존 설계 기준의 괴리

전통적으로 도시 하수도 및 배수 시설은 과거 수십 년간의 강수 데이터를 바탕으로 설계되었다. 그러나 최근 15년(2010~2024) 동안 하루 80mm 이상 호우일 수는 총 19일로, 그 이전 15년(1995~2009)의 20일과 거의 비슷한 수준을 유지하고 있다. 이 수치는 통계적으로는 유의미한 증가세를 보이지 않으며, 연 강수량의 선형 추세 역시 통계적 유의성이 없다(p=0.6248), '호우의 빈도'만

으로는 위험성을 설명하기 어렵다는 함정이 존재한다. 실제로 2025년 여름 대책에서 풍수해·폭염을 묶은 '여름철 자연재난 종합대책'이 발표된 바 있으며, 기상청은 2026년 연 기후전망에서 "평년보다 덥고, 비는 더 많이 오며, 극한호우 위험이 크다"고 경고했다[26]. 즉, 호우의 '횟수'보다는 시간당 강수량(예: 시간당 100mm에 가까운 국지성 호우)이 급증하면서 기존 시설의 처리 용량을 초과하는 '초과 유입'이 발생하는 구조이다.

이러한 괴리는 구도심의 노후 하수관과 취약 제방, 그리고 집중호우 때마다 침수되는 반지하 주거지에서 명확히 드러난다. 한국 정부는 이미 탄소중립·녹색성장 기본계획을 통해 2050년 탄소중립이라는 장기 목표를 재확인하는 한편, 단기 과제로 폭염·홍수에 대한 기후 적응과 물 관리 패러다임 전환을 전면에 내세우고 있다[26]. 지자체마다 폭염 전담 조직과 기후적응 전담 팀이 신설되고, 저지대 지하역사와 노후 하수관, 소규모 하천을 대상으로 한 기후 리스크 진단이 일상 업무에 가까워지고 있는 상황이다.

스마트 물순환 도시와 그린인프라 전략

기존 회색 인프라(콘크리트 배수로, 대형 댐) 중심의 홍수 조절 방식에서 벗어나, 빗물을 가급적이면 도시 내에서 흡수·저장·활용하는 '그린인프라(Green Infrastructure)' 기반의 스마트 물순환 도시 조성이 시급하다. 그린인프라는 홍수, 열환경, 대기오염과 같은 기후변화의 부정적인 영향들을 저감하고, 살기 좋고 회복력이 높은 도시로 만드는 전략으로 강조되고 있다[25].

인프라 핵심 과제

투수성 포장 확대: 아스팔트 대신 빗물이 땅속으로 스며들 수 있는 투수성 포장을 적용하여 지표면 유출량 자체를 줄여야 한다.

저류시설 추가: 시간당 100mm에 달하는 폭우 시 하수관로의 압력을 낮추기 위해 지중 또는 지하에 대규모 저류조를 확보해야 한다.

우수관 단면 확대: 기존 설계 빈도를 상향 조정하여, 과거 대비 증폭된 최대 유량을 안전하게 배출할 수 있도록 관로를 확장해야 한다.

특히 동남아 도시들은 시간당 100mm를 훌쩍 넘는 스콜성 폭우에 대응하기 위해 기존 배수 설비를 사실상 재설계하는 수준의 투자에 나서고 있다[26]. 한국에서도 현장의 언어가 바뀌었다. 불과 몇 해 전만 해도 호우 피해가 나면 "기습 폭우"라는 표현이 먼저 등장했지만, 이제는 "설계빈도 상향", "우수관 단면 확대", "저류시설 추가" 같은 용어가 브리핑의 전면에 오른다[26]. 이는 단순한 복구 차원을 넘어, 사회 시스템의 기본 설계를 다시 쓰는 장기 프로젝트임을 시사한다.

실시간 재난 알림과 데이터의 한계

물리적 인프라 개선과 병행하여, 시민의 대피와 대응 속도를 높이는 '재난 알림 서비스 실시간화'가 필수적이다. ERA5 재분석 자료는 위성 및 관측 데이터를 수치 모델에 동화하여 생성된 것이므로, 실제 관측소 값(ASOS)과 유사하지만 모델 기반의 추정치라는 한계가 있다. 따라서 방재 정책 수립에는 지역별 미세 기후 특성을 반영한 고해상도 실시간 관측 데이터와의 연계가 요구된다.

결론적으로 2026년 여름, 한국이 마주한 질문은 “언제 닥칠지 모르는 재난에 대비할 것인가”가 아니라 “매년 반복될 폭염과 집중호우, 국지성 홍수를 감당할 수 있는 도시·사회 구조를 어떻게 재설계할 것인가”이다[26]. 기후 재난을 더 이상 예외적 사건이 아니라 기본 서비스로 상정하는 순간, 기후정책은 환경부의 계획서에 머무를 수 없다. 도로와 하천, 전력망과 주거, 복지와 금융까지, 사회 시스템의 기본 설계를 다시 쓰는 장기 프로젝트가 본격적으로 시작되고 있다.

도시 적응 및 정책 시사점

공공 건강 및 도시 열섬 완화

극한 고온 현상의 가장 직접적인 피해는 인간 건강과 삶의 질에 미친다. 연평균 기온 상승이나 계절별 변화의 통계적 경향은 장기적인 기후 패턴을 보여줄 뿐, 일상에서 체감하는 위험은 최고 기온이 33°C를 넘어서는 **폭염**과 최저 기온이 25°C 이상 유지되는 **열대야**에서 비롯된다. 서울의 경우, 1990년대에는 연간 폭염일수가 단 2일에 불과했으나 2010년대에는 44일로 약 22배 증가했으며, 2018년에는 무려 19일이 집중되었다[17]. 또한 열대야 일수는 1990년대 3일에서 2010년대 48일로 급증하여, 여름철 밤에도 체온이 내려가지 않는 상태가 빈번해졌음을 의미한다. 이러한 환경 변화는 단순한 불편을 넘어, 특히 노인·아동·저소득층 등 취약 계층에게 치명적인 열 스트레스(heat stress)로 작용하며 공공 보건 시스템의 근본적인 재설계를 요구하고 있다.

건강 위험 경보

취약 계층의 열 스트레스와 건강 리스크

영국 국제환경개발연구소(IIED)의 분석에 따르면, 세계 주요 대도시들의 35도 이상 폭염일수가 지난 30년 동안 크게 증가했으며, 이로 인해 수백만 명이 열 스트레스를 겪고 있는 것으로 추정된다. 서울의 경우 1994~2003년 9일이던 35도 이상 날씨가 2014~2023년 기간 중 58일로 폭발적으로 늘어났다. IIED의 터커 랜즈먼(Tucker Landesman) 선임연구원은 "아동, 노인, 열악한 주택 거주자, 야외 근로자가 더운 날씨에 더욱 취약하다"며 적절한 대응이 필요하다고 지적했다.

1. 야간 냉방과 생체 리듬: 열대야 시대의 보건 과제

과거의 폭염 대책은 낮 시간대의 그늘 제공이나 수분 공급에 집중되었으나, 열대야 일수의 증가는 '밤'이라는 휴식 공간까지 위협하고 있다. 최저 기온이 25°C 이상인 열대야가 상시화되면 인간의 생체 리듬(수면 주기)이 교란되고, 심신 회복이 불가능해져 만성 피로 및 온열질환으로 이어질 수 있다. 실제로 최근 10년간 열대야 일수가 크게 증가하였으며, 이는 1990년대 대비 약 6배 수준이다.
야간에 에어컨이나 선풍기 등 인공 냉방 장치를 가동하지 않고 자연 통풍만으로 실내 온도를 낮추는 것은 물리적으로 불가능한 경우가 많아졌다. 그러나 저소득 에너지 취약계층은 전기 요금 부담으로 인해 냉방 기기 사용 자체를 포기하거나, 불충분한 냉방으로 인해 열사병 위험에 노출될 수밖에 없다. 따라서 현대의 공공 보건 정책은 낮뿐만 아니라 밤까지 포괄하는 **24시간 열대응 체계**를 구축해야 한다.

2. 쿨링센터 네트워크 확장 및 운영 시간 연장

현재 서울시를 비롯한 지자체는 폭염 시 시민들을 위한 쿨링센터(냉방 쉼터)를 운영하고 있으나, 기존 모델은 주로 낮 시간대의 일시적 쉼터 성격이 강했다. 열대야 시대에는 쿨링센터의 운영 시간을 야간까지 연장하거나, 사회적 약자를 위해 24시간 개방하는 시설을 확충해야 한다. 또한 단순한 공영 냉방 공간을 넘어, 복지 사각지대에 있는 노약자를 위해 방문형 응급 지원(쿨스카프, 식염 포도당 등의 배부)과 함께 긴급 냉방비 지원을 연계하는 통합 시스템이 필요하다.
서울시의 '서울형 그린e 긴급복지지원사업'은 에너지 비용으로 사용 가능한 에너지 바우처를 겨울과 여름 간 유연하게 사용할 수 있도록 개편하는 등 제도적 보완을 진행 중이다. 3인 가구 기준 연간 184,500원 수준의 바우처를 계절 간 이동 사용하여 여름철 냉방비를 보조하는 방안은 열 스트레스로부터 취약계층을 보호하는 실질적인 안전망이 될 수 있다.

3. 도시 녹지 확보를 통한 열섬 효과(UHI) 완화

도시 내 아스팔트와 콘크리트 밀집도는 낮에는 열을 흡수하여 기온을 높이고, 밤에는 방출하여 열대야를 유발하는 주범인 **도시 열섬 효과(Urban Heat Island Effect)**를 악화시킨다. IIED 연구진은 "폭염은 도시 열섬 효과로 인해 더 악화되며, 녹지 공간 접근성 개선과 건물 설계 변경이 필수적이다"라고 강조했다.
열섬 효과를 완화하기 위한 핵심 전략은 다음과 같다.

- **그늘길 조성 및 옥상·벽면 녹화:** 도로 변에 가로수를 확대하여 보행자의 복사열을 차단하고, 빌딩 옥상과 외벽에 녹화를 실시하여 건물의 열 흡수를 줄여야 한다.
- **반사 코팅 도로 포장:** 태양광 반사율이 높은 자재로 도로와 지붕을 덮어 열 저장량을 감소시키는 '쿨루프(Cool Roof)' 정책을 시행한다.
- **물 순환 생태계 복원:** 불투수층(아스팔트) 비율을 낮추고 빗물 투수성 포장재를 확대하여 증발 냉각 효과를 유도한다.

> **정책 시사점**
> IIED의 터커 랜즈먼 연구원은 "단순히 기온이 오르는 것을 막는 것이 아니라, 아동, 노인, 야외 근로자가 폭염에 덜 취약하도록 사회 인프라를 설계해야 한다"고 지적하였다. 즉, 온도 저감 기술만이 아닌 '사회적 방어선'을 강화하는 것이 공공 건강 정책의 핵심이다.

4. 데이터 기반의 선제적 대응

본 보고서에서 사용한 ERA5 재분석 자료는 서울의 여름 기온 상승률이 다른 계절에 비해 상대적으로 빠른 가열 속도를 보여준다. 비록 전체 연평균 기온 상승 추세가 통계적 유의성($p=0.2277$)은 부족하나, 여름철 극한 고온의 빈도는 이미 현실화된 수치이다.
따라서 행정 당국은 과거의 경험적 판단이 아닌, 실시간 기상 데이터를 기반으로 한 조기 경보 시스템을 고도화해야 한다. 예를 들어, 특정 지역의 최저 기온이 25°C를 넘어서는 열대야가 연속될 경우, 해당 지역 노숙인 쉼터나 사회복지관에 대한 특별 모니터링을 강화하고, 에너지 바우처 사용을 촉진하는 등 데이터에 기반한 선제적 개입이 요구된다. 열 스트레스는 갑작스럽게 닥치는 재난이 아니라, 매년 반복되어 피해를 누적시키는 '천천히 닥치는 재난(Slow-onset Disaster)'이기 때문이다.

도시 적응 및 정책 시사점

데이터 한계 및 향후 전망

본 보고서가 제시한 서울의 기후 변화 양상은 유럽중기예보센터(ECMWF)의 5세대 재분석 자료인 ERA5를 근간으로 한다. 그러나 ERA5와 같은 전 지구적 재분석 데이터는 본질적으로 '모델링 추정치'이며, 특정 지점의 국지적 기상 현상을 완벽하게 대변하지는 못한다. 따라서 본 장에서는 분석에 사용된 데이터의 구조적 한계를 명확히 하고, 향후 신뢰성 높은 정책 수립을 위한 관측망 고도화 및 모델링 개선 방향을 제시한다.

재분석 자료의 공간 해상도 한계

ERA5 자료는 전 지구적 차원의 일관된 기후 데이터를 제공한다는 장점에도 불구하고, 9–25 km의 해상도를 가진다. 이는 서울과 같이 복잡한 도시 구조와 미세한 지형적 특성을 가진 지역에서 발생하는 극단적인 기상 현상(예: 특정 구간의 집중 호우, 도심 내 열섬 효과에 의한 국지적 폭염)을 포착하는 데 있어 물리적 한계를 갖는다. 실제로 ERA5는 격자 평균값만을 제공하므로, 산악 지형이 많은 지역이나 해안가 등 지형적 특성이 뚜렷한 곳에서는 실제 관측소(Automated Synoptic Observing System, ASOS)의 측정값과 차이가 발생할 수 있다.

특히 해안 지역이나 연안 부근의 경우, 풍속 및 풍향 데이터에서 RDAPS(지역예보모델)와 비교했을 때 ±2.0m/s까지 오차가 발생할 수 있다는 연구 결과는, ERA5 자료가 해양과 육지의 비열 차이 및 바람의 지형적 효과를 완전히 세분화하여 반영하지 못함을 시사한다[3]. 온도 관련 지표 역시 격자 내 지형 효과(수치표고모델의 첨도 및 왜도)로 인해 실제 ASOS 관측값과 -2°C ~ +2°C 범위의 편차를 보일 수 있으며, 이는 특히 여름철에는 ASOS의 온도가, 겨울철에는 ERA5의 온도가 상대적으로 높게 나타나는 계절별 패턴을 보인다[7].

> **데이터 한계**
> 본 보고서의 수치들은 ERA5 재분석 자료 기반의 추정치입니다. 실제 현장 관측값(ASOS)과는 지형적 특성, 도시 열섬 효과 등으로 인해 상이할 수 있습니다. 따라서 개별 건물의 냉방 설계나 상세한 일별 재난 대응 계획 수립 시, 반드시 기상청 공식 실시간 관측 자료와 교차 검증(교차 검증)이 필요합니다.

국지적 극값 정확도 및 해석 주의사항

본 보고서에서 강조된 '폭염일 수 증가'나 '집중 호우 빈도'와 같은 극한 기상 사건은 통계적 추세로서 의미는 크지만, 재분석 자료의 특성상 그 정확한 발생 시점과 강도를 '실측'으로 단정하기 어렵다. 예를 들어, 하루 80mm 이상의 집중 호우는 전체 기간 동안 연평균 1.3일 정도 발생했으나, 이는 ERA5의 격자 평균 강수량을 기반으로 한 것이므로 실제 특정 지역의 실측 강수량과는 괴리가 있을 수 있다. 또한, 선형 회귀 분석 결과 연평균 기온 상승 추세가 p=0.2277로 통계적 유의성이 없었던 점은, 단기적인 자연 변동성(자연 변동성)이 장기적인 기후 변화 신호를 가릴 수 있음을 보여준다.

따라서 본 보고서는 서울의 기후가 장기적으로 어떻게 변모하고 있는지를 파악하는 '방향성(방향성)'을 제시하는 데 유효하지만, 구체적인 일일 재난 관리나 인프라의 상세 설계 용도로 바로 적용되기에는 한계가 있음을 명시해야 한다. 재분석 자료는 결측치가 없고 전 지구적으로 일관된 장기간의 시계열 데이터를 제공하여 장기적 경향을 파악하는 데 탁월하나, 상세 일별 실측을 대체할 수는 없다.

향후 전망 및 정책 제언

서울의 기후 적응 전략을 더욱 정교화하고 과학적 근거에 입각시키기 위해서는 다음과 같은 데이터 고도화 노력이 선행되어야 한다.

1. **고해상도 지역 기후 모델(Dynamical Downscaling) 도입:** ERA5와 같은 전 지구 모델을 바탕으로, 한반도 및 서울 지역에 초점을 맞춘 고해상도(1km~3km 수준) 지역 기후 모델을 활용해야 한다. 이를 통해 복잡한 도시 지형과 열섬 효과를 보다 정밀하게 모의할 수 있다.

2. **기상청 ASOS 관측망과의 지속적 교차 검증:** 재분석 자료의 추세를 검증하기 위해 기상청이 운영하는 ASOS 자동 기상관측소 네트워크의 실시간 데이터를 지속적으로 수집하고, 두 데이터셋 간의 편차(Bias)를 보정해야 한다. 특히 해안가와 산간 지역 등 지형적 영향이 큰 곳에서의 보정 알고리즘 개발이 필수적이다.

3. **다양한 변수 통합 분석:** 기존 연구가 지상 온도나 강수량에 집중했다면, 향후에는 풍속, 습도, 일사량 등 다양한 기상 요소를 복합적으로 고려한 다변량 분석 모델로 확장해야 한다. 특히 연안 지역의 경우 풍속 및 풍향 데이터의 정확도 향상이 홍수 및 태풍 피해 예측에 중요하다.

결론적으로, 서울의 기후 변화는 단순한 온도 상승을 넘어 계절별 불균형(여름 집중 가열, 겨울 감소 경향)과 극한 현상의 빈발이라는 형태로 나타나고 있다. 이러한 변화를 정확하게 진단하고 효과적인 대응 정책을 마련하기 위해서는 ERA5와 같은 거시적 재분석 자료의 통찰력과 ASOS와 같은 미시적 실측 자료의 정밀함이 결합된 하이브리드 데이터 생태계가 구축되어야 한다.

도시 적응 및 정책 시사점

데이터 기준과 한계

본 보고서에 제시된 모든 통계적 추세, 계절별 편차 및 극한 기상 현상의 빈도 분석은 2026년 11월 5일 시점까지 확인 가능한 공개 자료와, 이 대화에서 수행된 정량적 분석을 근거로 한다. 이 날짜 이후에 발표될 수 있는 추가 관측치나 수정된 재분석 데이터는 본문의 결과에 포함되지 않았으며, 향후 더 긴 기간의 자료가 축적될 경우 도출된 결론은 보완되거나 수정될 수 있음을 명시한다.

> **작성 기준일**
>
> 본 보고서의 모든 수치와 분석은 작성 기준일인 2026년 11월 5일 이전에 확보된 정보를 기반으로 합니다.

자료 출처의 비동질성

각각의 지표가 적용하는 기간(예: 특정 월 vs 연초~중순, 전년도 대비 등)과 범위(전 지구 vs 중국 제외 지역 등)가 상이하므로, 서로 다른 기준으로 산출된 수치는 직접 비교할 수 없다. 본 보고서 내 각 숫자는 고유의 기간과 범위를 전제로 해석되어야 한다.

산출 방식의 한계

본문에 등장하는 선형 추세, R^2, p-value 등의 통계적 지표는 해당 시점까지 확보된 ERA5 재분석 데이터를 바탕으로 산출된 것이다. 이는 단순한 기술적(기술적) 경향성을 나타낼 뿐, 인과 관계나 외부 요인의 기여도를 검증하는 것은 아니다.

재분석 자료(Reanalysis)의 특성과 오해

본 보고서의 핵심 기반 자료인 ECMWF(유럽중기예보센터)의 ERA5는 과거의 기상 관측 자료를 현대의 예측 모델로 다시 계산하여 생성한 일관된 기후 데이터셋이다. 이는 실제 지상 관측소(ASOS)에서 측정된 값과 유사하지만, 완전히 동일한 값은 아니며 모델링에 의한 추정치라는 점을 반드시 인지해야 한다. 특히 서울과 같은 고밀도 도시 지역에서 발생하는 국지적인 열섬 효과(UHI)나 미세한 기온 변동은 전 지구 규모의 재분석 격자(Grid)에서는 평균화되어 누락될 가능성이 높다. 따라서 본 보고서에서 관찰된 '여름철 집중 가열'이나 '폭염일 증가'는 광역적인 기후 경향을 반영하되, 도시 내부의 극한 온난화가 실제로는 그보다 더 심각하게 진행되었을 가능성을 배제할 수 없다.

또한, 통계적 유의성(p-value)이 낮은 결과는 '변화가 없다'는 의미가 아니라, 현재 사용 가능한 짧은 기간(30년)의 데이터로는 자연적인 변동성(Natural Variability)과 명확히 구별하기 어렵다는 뜻이다. 예를 들어, 겨울철 적설량의 감소 경향이나 연평균 기온 상승 추세가 통계적으로 불충분하다는 것은 해당 현상이 무시할 수 있을 만큼 작다는 것을 의미하지 않으며, 더 긴 기간의 자료가 확보되면 결론이 달라질 수 있다.

주요 변수 정의

기온 (°C)
ERA5 격자 기반 연·계절 평균 및 최고/최저값

강수량 (mm)
연 강수량 합계 및 하루 80mm 이상 호우일 수

적설량 (cm)
겨울철(12월~2월) 적설량 누적합

선형 추세
1995~2024 기간의 10년 단위 변화율

정책 활용 시 고려사항

- **단일 지표 의존 금지:** 본 보고서는 재분석 자료의 거시적 경향을 보여줄 뿐, 개별 시설이나 지역의 구체적인 피해 규모를 산정하는 데 직접 사용할 수 없다. 냉방 수요 관리나 홍수 방어 인프라 설계에는 기상청 ASOS 실시간 관측치 및 상세 토지 이용 지도를 병행해야 한다.

- **불확실성의 수용:** 여름철 온난화 속도가 가장 빠르다고 하더라도(p=0.0807), 이는 엄격한 통계적 기준(p<0.05)으로는 '유의미한 증가'로 확정할 수 없는 수준이다. 따라서 정책 수립 시 최악의 시나리오(Worst-case Scenario)를 가정하고 완충 여력을 두어야 한다.
- **자료의 동적 업데이트:** 기후 데이터는 매년 새로워진다. 2026년 11월 5일 이후 추가된 2~3년간의 관측치가 누적되면, 현재의 '증가세' 또는 '감소세'가 장기적인 패턴으로 정착되었는지 재검토해야 한다.

> **결론**
>
> 본 보고서의 수치들은 특정 시점의 정적(Snapshot) 상태일 뿐이며, 이를 활용한 모든 정책적 판단은 '데이터의 한계'를 전제로 한 유연한 접근이 요구된다.

참고 자료

1 흐려지는 '사계절'…100년전보다 여름 25일 늘고 겨울 22 ...
khan.co.kr · Accessed: 2026-11-05
https://www.khan.co.kr/article/202512301024001

2 고해상도 재분석자료와 관측소 1시간 평균 지상 온도 비교
kci.go.kr · Accessed: 2026-11-05
https://www.kci.go.kr/kciportal/ci/sereArticleSearch/ciSereArtiView.kci?sereArti

3 기상청 지역예보모델 자료와 ERA5 재분석 자료의 풍속 및 ...
sciwatch.kiost.ac.kr · Accessed: 2026-11-05
https://sciwatch.kiost.ac.kr/handle/2020.kiost/22357

4 Comparisons of 1-Hour-Averaged Surface Temperatures ...
jkess.org · Accessed: 2026-11-05
http://jkess.org/journal/article.php?code=73072

5 ERA5 Daily Aggregates - Latest Climate Reanalysis ...
developers.google.com · Accessed: 2026-11-05
https://developers.google.com/earth-engine/datasets/catalog/ECMWF_ERA5_DAILY?hl=

6 Evaluation of bias and uncertainty in snow depth reanalysis ...

jkwra.or.kr · Accessed: 2026-11-05
https://jkwra.or.kr/articles/xml/4aEk/

7 20년(1999-2018) 기간에 대한 우리나라 ASOS 지상 관측 ...
dbpia.co.kr · Accessed: 2026-11-05
https://www.dbpia.co.kr/journal/detail?nodeId=T15916472

8 지자체 폭염대책 현황과 시사점
krihs.re.kr · Accessed: 2026-11-05
https://www.krihs.re.kr/galleryDownload.es?bid=0025&list_no=29816&seq=1

9 서울시 도시열섬현상 지역의 물리적 환경과 인구 및 사회 ...
scienceon.kisti.re.kr · Accessed: 2026-11-05
https://scienceon.kisti.re.kr/srch/selectPORSrchArticle.do?cn=JAKO20191776428121

10 서울 폭염일수 '7360%' 증가…전세계 도시 중 최악
khan.co.kr · Accessed: 2026-11-05
https://www.khan.co.kr/article/202406280900001

11 제주 지역 기후 변화 기반 건물 에너지 수요 분석 연구
app.rndcircle.io · Accessed: 2026-11-05
https://app.rndcircle.io/lab/8bc0c6db-eb4c-4630-82a6-c2d4e62a2d58/research/7ec62

12 「우리나라 113년 기후변화 분석 보고서」 발간
weather.go.kr · Accessed: 2026-11-05
https://www.weather.go.kr/kma/flexer/html/press/2025/12/30/ATC202512300724012_c9

13 서울특별시 탄소중립 녹색성장 기본계획(2024~2033)
pcccr.go.kr · Accessed: 2026-11-05
https://www.pcccr.go.kr/storage/board/base/2024/07/10/BOARD_ATTACH_17205698125

14 탄소 못 줄이면...서울, 2081년 겨울 12일뿐
khan.co.kr · Accessed: 2026-11-05
https://www.khan.co.kr/article/202512222103005

15 [박치현의 기후과학] 가열화의 덫...따뜻한 겨울이 불러온 폭설 ...
newspenguin.com · Accessed: 2026-11-05
https://www.newspenguin.com/news/articleView.html?idxno=20808

16 1994년과 비교한 2018년 폭염 특성 1. 폭염 원인
kma.go.kr · Accessed: 2026-11-05
https://www.kma.go.kr/kma/servlet/NeoboardProcess?mode=download&bid=press2&num=9

17 2018년과 1994년 폭염 비교
kma.go.kr · Accessed: 2026-11-05
https://www.kma.go.kr/kma/servlet/NeoboardProcess?mode=download&bid=press&num=11

18 발간등록번호 - 11-1360000-001109-10

water.or.kr · Accessed: 2026-11-05

https://www.water.or.kr/upload/board/2022/11/20221107164004_1.pdf

19 사상 최저 기온으로 시작해 최고 기온 찍은 2018년…이상 ...

khan.co.kr · Accessed: 2026-11-05

https://www.khan.co.kr/article/201902071230001

20 [ONE SHOT] 2018년 여름, 한반도 '역대 최고기온' 순위가 싹 ...

joongang.co.kr · Accessed: 2026-11-05

https://www.joongang.co.kr/article/22867984

21 [2018 폭염 보고서] ① 111년 사상 최악…최장·최고기록 경신

yna.co.kr · Accessed: 2026-11-05

https://www.yna.co.kr/view/AKR20180817137100004

22 서울시 기후변화대응 종합계획

aurum.re.kr · Accessed: 2026-11-05

https://www.aurum.re.kr/Legal/PlanFileDownLoad.aspx?num=2153

23 제3차 서울특별시 기후위기 적응대책(2022~2026)

kaccc.kei.re.kr · Accessed: 2026-11-05

https://kaccc.kei.re.kr/home/board.es?mid=a10503010100&bid=0021&act=view&list_no

24 국가 기후위기 적극 대응대책 2025. 12. 관 계 부 처 합 동

pcccr.go.kr · Accessed: 2026-11-05

https://www.pcccr.go.kr/download/BOARD_ATTACH?storageNo=4824

25 [보고서]기후변화 적응형 도시구현을 위한 그린인프라 전략 ...

scienceon.kisti.re.kr · Accessed: 2026-11-05

https://scienceon.kisti.re.kr/srch/selectPORSrchReport.do?cn=TRKO201800042349

26 2026년 여름, 기후위기 속 '일상 인프라 전쟁'

weeklyseoul.net · Accessed: 2026-11-05

https://www.weeklyseoul.net/news/articleView.html?idxno=86029

27 '한국 기후위기 평가보고서 2025' 발간

mcee.go.kr · Accessed: 2026-11-05

https://mcee.go.kr/home/web/board/read.do;jsessionid=H4fQU7hN-WTDirWJSsXmefdAwBs