



2025.7.

국회미래연구원 | 국가미래전략 Insight | 120호

AI와 가상융합 기반 재난재해 대응 방안



이승환 연구위원(미래산업팀)



국회미래연구원
NATIONAL ASSEMBLY FUTURES INSTITUTE

국가미래전략 Insight | 120호

ISSN

2733-8258

발행일

2025년 7월 24일

발행인

김기식

발행처

국회미래연구원

서울시 영등포구 의사당대로 1

Tel 02-786-2190 Fax 02-786-3977

Contents

요약 | 01

1. 재난은 이제 뉴노멀(New Normal) | 04

2. 재난대응이 실패하는 이유 | 07

3. 재난대응의 해법으로 주목받는 AI와 가상융합 | 15

4. AI와 가상융합 기반 재난대응 사례 | 20

5. 시사점 | 30

요약

1. 뉴노멀(New Normal)이 된 재난, 왜 재난대응에 실패하는가?

▶ 예외적 사건에서 일상이 된 재난

- 계절적 경계가 모호해져 언제든 극단적 기상 현상이 발생 가능한 상황이 조성
 - 대형 재난 연평균 발생 수는 1980년대 3.3회에서 2020년~2024년 23회로 급증
 - 텍사스 휴스턴에서 500년에 한 번 발생할 확률의 극한 홍수가 3년 연속 발생
- 재난 발생 간격도 줄어들고 있으며 피해도 확대될 전망
 - 1980년대에 재난은 평균 82일 간격으로 발생했으나 2018년~2022년에 18일로 단축되어 재난 발생 주기가 약 4.5배 빨라짐
 - 2030년 세계 재난 발생빈도가 연간 560건(하루 1.5건)에 달할 전망
 - 2024년 세계 자연재해로 인한 경제적 손실은 3,200억 달러로 전년 대비 19% 증가했고 국내도 영남권 대형 산불로 1조 818억 원 피해가 발생

▶ 재난대응은 재난 발생 전후의 인명과 재산 피해를 최소화하기 위한 응급 구조 및 지원 활동이며, 각 단계에서 실패 요인이 존재

- 단계별로 예방체계 부족, 대응·지휘체계 실패, 복구 혼선으로 피해가 확대

요약표1
재난대응에 실패하는 이유

구분	이유
재난 발생 전	<ul style="list-style-type: none"> • 재난 위험을 충분히 인지하지 못하거나, 인지했어도 구체적 대응계획이 부족한 경우 • 재난을 사전에 경고하고 대피시키는 시스템이 없거나 제대로 작동하지 않으면 대응 공백이 발생 • 물질·제도적 장치 부족, 취약계층에 대한 사전 준비가 부족하면 대응 실패로 귀결
재난 발생 중	<ul style="list-style-type: none"> • 재난이 발생하면 초기 대응과 수습 과정에서 복합적 어려움이 발생 • 신속하고 통합된 대응이 중요하며, 그렇지 못하면 피해를 최소화할 골든 타임을 놓치게 됨 • 부실한 지휘체계 기관 협력 실패가 원인 • 통신 두절과 정보 공유 실패도 문제로 지목, 자원 부족과 현장 대응 역량의 한계 • 현장 작전 및 대피체계의 부실, 각 재난 유형별로 대응의 어려움이 존재
재난 발생 후	<ul style="list-style-type: none"> • 구조 활동의 혼선과 비효율, 복구 과정에서의 형평성과 취약계층 소외 • 공공서비스 복구 지연과 2차 피해, 심리적, 사회적 지원 부족과 공동체 붕괴

- 2025년 3월 발생한 영남권 산불도 예방체계 미비, 대응 과정의 지휘 혼란, 복구 단계 지연이 연쇄적으로 작용하여 피해가 확대

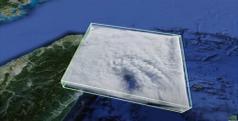
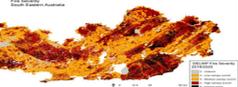
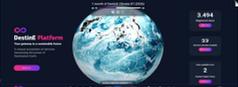
2. 재난대응의 해법으로 부상하는 AI와 가상융합

● AI와 가상융합은 재난 전 과정에 걸쳐 기존 대응의 한계점을 극복하고 보다 효율적인 재난관리 체계를 구축할 수 있는 기반을 제공

- AI의 데이터 분석과 패턴 인식 능력은 가상융합 기술의 시뮬레이션 및 시각화 능력과 연계되어 보다 체계적인 재난관리 대안을 제공
- (재난 발생 전) 다양한 재난 시나리오를 사전에 생성하고 대응 계획을 수립
- (재난 발생 중) 상황 변화에 따라 실시간으로 대응 전략을 수정하고 최적화
- (재난 발생 후) 피해 통합 정보 제공 및 축적된 데이터 기반 대응 체계를 고도화

요약그림1

AI와
가상융합 기반
재난대응
사례

구분	구분	내용
지구 단위의 대규모 대응	어스2 (Earth2)	 <ul style="list-style-type: none"> • 엔비디아는 지구를 가상으로 구현하여 재난대응에 활용 • 이전 기후모델 보다 연산 속도가 1,000배 더 빠르고(해상도 12.5배) 정교한 기후변화 시뮬레이션이 가능 • 대안은 어스2(Earth-2)를 활용해 태풍 진로를 예측
	GEE (Google Earth Engine)	 <ul style="list-style-type: none"> • AI는 위성 데이터의 패턴을 인식·예측하는 핵심 도구 • 시뮬레이션은 시나리오를 테스트해보는 가상 실험실 역할 • 호주는 화재 지역을 분류하고 복원·예방에 활용
	Destin E (Destination Earth)	 <ul style="list-style-type: none"> • EU는 디지털 지구 모델을 구축하는 Destin E 를 추진 • 자연재해의 영향을 실시간으로 분석하고, 시뮬레이션 • 2022년 유럽을 강타한 폭풍 Eunice를 조기 감지
국가 및 도시 단위의 대응	사우디 아라비아 디지털 트윈	 <ul style="list-style-type: none"> • 사우디아라비아의 주요 도시를 디지털 트윈으로 제작 • 홍수 시뮬레이션 도구로 재난대응에 활용 • 침수 예상 지역을 미리 파악하고 경보
	대만 가오슝 (Kaohsiung)시	 <ul style="list-style-type: none"> • AI와 디지털 트윈을 활용하여 도시 재난 회복력을 강화 • 실시간 카메라 50,000개 통합, 비디오 데이터 400만 시간 분량 수집, AI 시나리오 300개 이상 활용
특정 재해 및 상황 대응	파이어셋 (FireSat)	 <ul style="list-style-type: none"> • AI를 활용해 5x5미터, 즉 교실 한 칸 크기의 작은 산불도 20분 이내에 탐지할 수 있도록 설계 • 산불 초기에 산불 위치, 크기, 강도 등의 정보 제공으로 소방관과 응급 구조대원의 신속한 대응을 지원
	ALERT California	 <ul style="list-style-type: none"> • 산악 지역에 설치된 1,000여 대의 카메라 영상을 AI로 분석하여 화재 발생을 감지 • 3개월간 911 신고 전에 40%의 산불을 탐지
	Google Flood Hub	 <ul style="list-style-type: none"> • AI와 시뮬레이션 기반 홍수 예측 시스템 • 홍수 발생을 최대 7일로 전에 예측하고 시각 정보 제공
	xView2	 <ul style="list-style-type: none"> • 위성과 AI를 활용해 재난 이후 신속하고 정확하게 건물 피해 상황을 자동 판독하고 분류 • 자동화된 피해지도 생성으로 체계적 사후 대응을 지원
	D-Resilio	 <ul style="list-style-type: none"> • AI와 디지털 트윈 기반 재난대응 플랫폼 • 대형언어모델(LLM), AI 에이전트, 가상융합의 연계에 기반해서 각 상황에 맞는 최적의 행동 지침을 제시
	Qwake C-THRU	 <ul style="list-style-type: none"> • AI와 증강현실(AR)이 연계된 소방 헬멧 • 화재 발생 시 연기로 앞이 보이지 않는 상황에서 증강현실(AR)로 연기를 투시하고 AI 기반 길 안내 정보 제공

3. AI와 기상융합을 활용한 재난재해 대응 방안

- ▶ **AI 100조 원 투자의 전략적 활용 방안으로 재난재해 대응에 주목**
 - 재난대응은 국민 생명과 직결되는 공공성과 산업 가치가 공존하는 영역
 - AI와 기상융합 기반 재난 전 주기에 걸쳐 기존의 한계점을 극복하는 방안을 검토하고 선제적, 예방적 재난재해 대응 체계 강화 필요
 - 영남 산불 1조 원 피해가 보여주듯 예방 투자가 사후 복구비용보다 효율적
- ▶ **AI와 기상융합 기반 재난재해 대응 플랫폼 및 인프라 구축 지원**
 - 재난 특화 대형 언어모델(LLM) 개발 및 디지털 트윈 통합 플랫폼 구축
 - 다양한 재난재해 데이터 통합 및 플랫폼 연동으로 학습·추론 능력제고
- ▶ **AI와 기상융합 기반 재난대응 혁신 제품 및 서비스 공공 조달 확대**
- ▶ **기술적 한계에 대한 인식과 신뢰하되 검증하는 단계적 접근 필요**
 - 학습 데이터의 품질과 편향성, 블랙박스 모델의 특성으로 인한 의사결정 근거의 불투명성, 적대적 공격에 대한 취약성 등도 고려 요소
 - 재난 AI 설명 가능성 제고 및 활용 원칙 수립

01 재난은 이제 뉴노멀(New Normal)

1. 예외적 사건에서 일상이 된 재난

- ▶ **과거의 재난은 100년에 한 번 발생하는 특별한 사건으로 인식**
 - 이 시기의 재난은 예측 가능한 계절성을 보였으며, 태풍은 여름철, 폭설은 겨울철에 집중되는 명확한 시간적 패턴을 보임
 - 재난은 단일한 형태로 발생하여 원인과 결과의 관계가 비교적 명확하였고 기존의 경험과 데이터를 통한 예측과 대응이 가능
- ▶ **현재 재난은 매년 발생하는 일상적 사건으로 변모**
 - 계절적 경계가 모호해지면서 언제든지 극단적인 기상 현상이 발생할 수 있는 상황이 조성
 - 캐시 호컬(Kathy Hochul) 뉴욕주지사는 “자연재해는 이제 뉴노멀(New Normal)로 받아들여야 할 것”이라고 언급(Reuters, 2023)
 - 미국 내 10억 달러 이상 규모의 재해 발생 수가 지난 40년간 빠르게 증가
 - 1980년대 연평균 3.3회에 불과했던 대형 재난이 2020년~2024년에는 연평균 23회로 급증

표1
미국의 재해 발생
주요 통계

기간	10억 달러 이상 재해 발생 수	연평균 발생 건수	연평균 사망자 수
1980년~1989년	33	3.3	302
1990년~1999년	57	5.7	308
2000년~2009년	67	6.7	310
2010년~2019년	131	13.1	523
2020년~2024(5년간)	115	23.0	504
2022년~2024(3년간)	73	24.3	511
2024년	27	27	568

자료: NOAA NCEI 자료를 바탕으로 국회미래연구원 재작성

- 텍사스주 휴스턴에서는 2015년~2017년까지 3년 연속으로 500년에 한 번 발생할 확률의 극한 홍수가 발생하여 500년 빈도라는 통계적 개념이 무의미해졌음을 보여줌(CBS News, 2017)

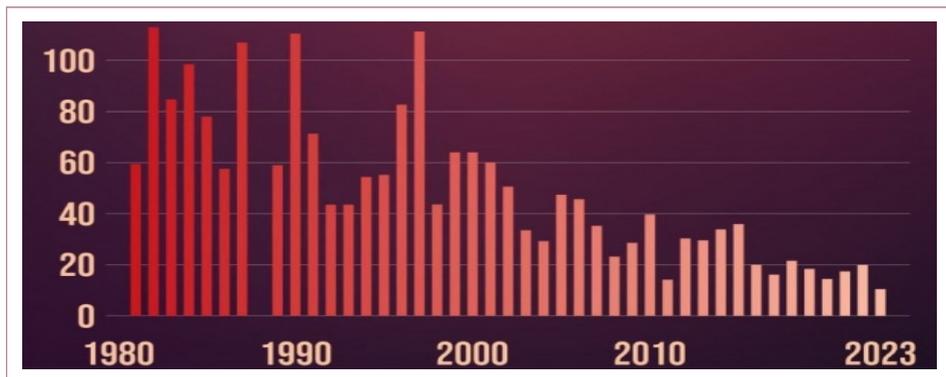
[참고] 3년 연속 500년에 한번 발생할 법한 홍수가 텍사스주 휴스턴에서 발생

- ▶ 2015년 5월: "Memorial Day Flood"라 불리는 대규모 홍수 발생
- ▶ 2016년 4월: "Tax Day Flood"라 불리는 또 한 번의 기록적 홍수 발생
- ▶ 2017년 8월: 허리케인 하비(Harvey)로 인한 사상 최악의 홍수 발생
 - 하비(Harvey)로 인한 피해 규모는 최대 112조 원에 달할 것이라는 분석(The Gardian, 2017)



- ▶ 재난 발생 간격도 줄어들고 있으며 이는 재난이 간헐적 사건이 아니라 거의 연속적으로 발생하는 현상임을 의미
- 1980년대에는 재난 발생 간 평균 82일의 간격이 있었지만, 2018년~2022년에는 18일로 단축되어 재난이 발생하는 주기가 약 4.5배 빨라짐

그림1
10억 달러 이상
재난 발생
간격 일수



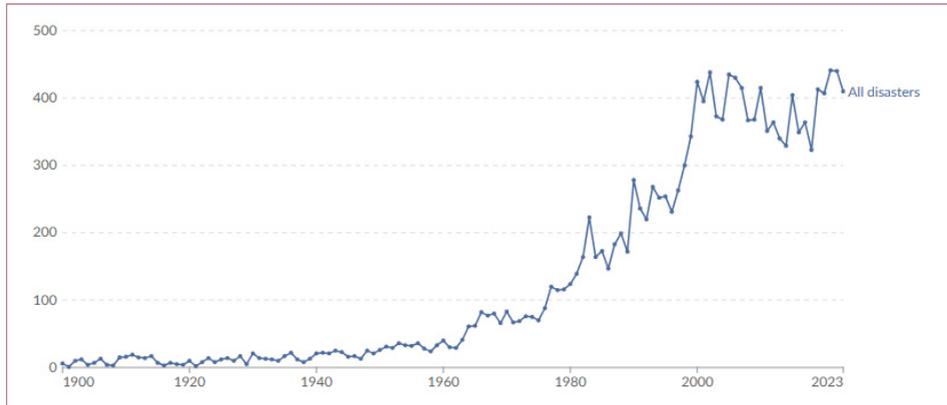
주: 미국 10억 달러 이상 피해 기준
자료: Climate Central

2. 재난은 계속되고 피해는 커질 전망

▶ 세계 자연재난은 2030년 연간 560건에 달하고 피해 규모는 지속 증가할 전망

- 2023년 세계적으로 399건의 자연재해가 발생했으며, 이는 2003~2022년 연평균 369건보다 증가한 수치(EM-DAT, 2024)

그림2
세계 자연재해
발생빈도



자료: EM-DAT

- 2030년까지 세계 재난 발생빈도가 연간 560건(하루 1.5건)에 달할 것으로 예측(UNDRR, 2022)
- 2024년 한 해 동안 전 세계 자연재해로 인한 총 경제적 손실은 3,200억 달러를 기록했는데, 이는 2023년 2,680억 달러에서 19% 급증한 것(Munich Re, 2025)
- ▶ 국내에서도 재난재해로 인한 피해가 심각한 상황
 - 2025년 3월 발생한 영남권 산불로 인한 피해액은 1조 818억 원으로 확정(중앙재난안전대책본부, 2025)
 - 산불은 1987년 정부가 산불피해 통계를 작성하기 시작한 이후 가장 피해 규모가 컸으며 27명이 사망, 산림 10만4000ha가 불탔으며 주택 3,848채, 농·어업 시설 6,106동 등 사유 시설과 국가유산, 전통 사찰 등 공공시설 769건도 피해
 - 2024년 한국은 1973년 이래 가장 더웠고, 9월까지 이어진 폭염, 열대야 외에도 장마철에 집중된 강수, 11월 대설 등 다양한 이상기후 현상과 그로 인한 여러 사회·경제적 피해가 발생(관계부처 합동, 2025)

02 재난대응에 실패하는 이유

1. 재난대응 개요

- ▶ 재난대응은 재난 발생 전후의 인명과 재산 피해를 최소화하기 위한 응급 구조 및 지원 활동이며, 각 단계에서 실패 요인이 존재
 - 재난대응은 재난 발생 직전, 발생하는 동안 또는 그 직후에 입을 수 있는 인명 및 재산 피해를 줄이기 위한 응급구조와 지원 활동(Petak, 1985)
 - 재난 발생 단계별로 대응에 필요한 요소가 존재하며 효과적으로 대응하지 못하면 피해가 확대

2. 재난 발생 전 : 예방 및 대비 단계의 실패 요인

- ▶ 재난대응의 성패는 이미 재난 발생 이전부터 결정되며 사전 예방 및 대비 단계에서 체계가 갖춰져 있지 않으면, 이후 대응이 어렵고 피해가 확대
- ▶ 정부와 지역사회가 재난 위험을 충분히 인지하지 못하거나, 인지하고도 구체적 대응계획으로 연결하지 못하는 경우 피해로 이어짐
 - 홍수·산사태 위험지도를 만들었지만, 현장 대응계획 수립으로 이어지지 못하는 경우가 발생
 - 호우 기록들만 보더라도 오송 지하차도와 예천 산사태는 언제든 일어날 수 있는 일이었음에도 준비가 돼 있지 않았다는 사실을 알 수 있는데, 이는 재난 취약 지역의 발굴과 정리에 실패한 것(오마이뉴스, 2023)
 - 재난 위험이 알려져 있어도 대비책이 미흡해 재난 취약 지역이 방치되고, “언제든 일어날 수 있는 일”에도 별다른 준비가 없는 상황이 발생

▶ **재난 피해를 줄이는 물적·제도적 장치가 부족한 것도 원인**

- 지진의 경우 내진설계 기준을 강화하고 건축 부정을 막는 것이 핵심인데, 이를 소홀히 하면 대형 참사로 이어짐
 - 2023년 튀르키예 지진에서 부실 건축과 부패로 건물의 절반 이상(약 1300만 채)이 안전 규정을 어겨 지어진 것으로 드러났고, 신축 고층 아파트들이 붕괴되 수만 명의 사망자가 발생(The Guardian, 2023)
 - 이는 지진 다발지역에서 건축법 준수와 감리가 얼마나 중요한지 보여 주며, 사전 대비 미흡이 재난을 인재로 바꾼 사례
 - 또한, 홍수나 태풍에 대비한 방재 인프라(방파제, 제방, 배수로 등)가 미비하거나 노후 시, 또는 산불 위험 지역의 사전 관리(산림 정리, 방화선 구축 등)가 부족한 경우에도 위험이 증가

▶ **재난을 사전에 경고하고 대피시키는 시스템이 없거나 제대로 작동하지 않으면 대응 공백이 발생**

- 많은 재난은 발생 전 경고 신호가 있으며 능력·부실 경보는 사실상 조기 대응 실패를 의미
 - 2023년 7월 경북 예천 산사태 때는 첫 산사태 신고 후 1시간이 지나서야 주민대피 문자가 발송되었고, 그마저도 유사시 안전한 곳으로 대피하라는 내용이 전부였음(MBC 뉴스, 2023)
 - 2018년 미국 캘리포니아의 캠프파이어 산불에서는 경보 시스템(Code RED) 절반 이상이 작동하지 않아 많은 주민이 제때 대피하지 못했고 85명이 사망(Industry Insider, 2018)
- 재난 대비 교육과 훈련 부족도 문제
 - 지진이 드문 한국은 2016년 경주 지진 때 대다수 국민이 어떻게 대처할지 몰라 혼란을 겪었고 체계적 훈련 부족 문제가 제기(MBC 뉴스, 2016)

▶ **취약계층 배려가 부족하면 대응 실패로 귀결**

- 사회적 약자는 재난에 더욱 취약하며 피해가 확산
 - 서울 도심의 반지하 거주민들은 폭우에 특히 취약하지만, 2022년 신림동 일가족 참사에서 보듯 동일 문제가 반복

- 고령자나 장애인 등 이동이 어려운 계층에 대한 대피계획 미비도 문제
 - 2005년 미국 허리케인 카트리나 발생 시 병원과 요양원의 노약자 대피 계획이 부실하여 많은 인명 피해가 발생
 - 재난 전에 사회적 약자 보호 대책 (대피 지원, 맞춤형 경보 전달, 안전 시설 보강 등)이 없다면, 취약계층은 대응에서 소외되는 실패를 겪게 됨
- ▶ **재난 발생 이전 단계에서는 위험을 과소평가하거나, 알면서도 대비하지 않은 모든 사항이 향후 대응 실패의 원인이 됨**

2. 재난 발생 중: 긴급 대응 단계의 실패 요인

- ▶ **재난이 발생하면 초기 대응과 수습 과정에서 복합적 어려움이 발생하고 이에 신속하고 통합된 대응이 중요하며, 그렇지 못하면 피해를 최소화할 골든 타임을 놓치게 됨**
- ▶ **부실한 지휘체계, 기관 협력 실패가 원인**
 - 대형 재난일수록 여러 기관과 정부 부처의 공조가 필수적이며, 부실한 지휘체계, 협력 구조의 실패는 대응을 마비시킴
 - 카트리나 사태는 연방·주·지방정부 협력체계가 무너져 재난관리시스템 자체가 작동 불능에 빠진 대표적 사례
 - 9·11 이후에 권한이 약해진 FEMA(연방 재난관리청)는 초기 대응에 제대로 역할을 하지 못했고, 연방과 주 정부 간 조율 실패로 구조와 구호가 지연(고동현, 2015)
 - 2022년 이태원 압사 참사나 2023년 오송 지하철도 참사에서 관련 기관 간 지휘·소통 부재가 문제로 지적
 - 오송 참사의 경우 홍수통제소의 연이은 경고에도 도로 통제가 이뤄지지 않고, 철도·도로 관리기관, 지자체가 서로 “우리 소관이 아니다”라고 미뤘던 사실이 확인(오마이뉴스, 2023)
- ▶ **통신 두절과 정보 공유 실패도 문제로 지목**
 - 재난 상황에서는 신뢰성 있는 소통 수단이 생명이나 대규모 재난 시에는 전력 공급 중단, 기지국 파손 등으로 통신 인프라가 마비되는 경우가 발생

(고동현, 2015)

- 카트리나 때 뉴올리언스는 전기와 상하수도, 통신망 두절로 지휘 보고와 구조 요청이 원활히 전달되지 못했음
- 2011년 일본 동북 대지진 당시, 피해 지역 지방 정부들이 통신 불통으로 고립되었고 초기 대응에 어려움을 겪었음
- 재난대응 조직 간 정보 공유가 안 되는 것도 문제
 - 2010년 아이티 지진에서는 수백 개의 국제구호단체와 의료팀이 왔지만 상호 간에 정보가 공유되지 않고 중복·누락이 발생하여 오히려 혼란이 발생(South China Morning Post, 2016)

▶ **자원 부족과 현장 대응 역량의 한계**

- 평소에 준비된 장비·물자·인력 자원이 부족하면 재난대응이 어려우며, 특히 대형 재난은 지역 대응 역량을 초과하기 때문에 초기에 외부 지원이 도착하기 전까지 공백이 생길 우려(U.S. Fire Administration, 2015)
- 지진이나 태풍으로 소방서, 병원 등 응급 인프라 자체에 피해가 발생하면 소방·구조 인력이 제 역할을 하기 어려움
 - 1995년 고베 지진 당시 지역 소방 인력이 부족해 주변 현·자위대 지원이 올 때까지 화재 진압과 구조에 지연이 발생
- 대응 자원이 있더라도 신속한 동원과 배치 실패도 문제
 - 2005년 카트리나 때는 연방 구호 인력이 늦게 도착하고, 버려진 버스가 대피에 활용되지 못하는 등 구호 자원의 배치 지연도 발생
- 재난 발생 중에는 시시각각 상황이 변하므로 자원의 실시간 파악과 융통성 있는 재배치가 필수인데, 이러한 관리 능력이 부족하면 대응 공백이 생김

▶ **현장 작전 및 대피체계의 부실**

- 재난 발생 시에는 누가, 언제, 무엇을 할지 역할 분담과 지침이 분명해야 하는데, 이를 사전에 정하지 않거나 훈련하지 않으면 피해가 확대
- 혼란스러운 상황에서도 질서 있게 인명구조와 대피를 진행해야 하나, 사전 준비된 현장 대응 지침 미비나 대피체계 부실은 대응 실패로 이어짐

- 대형 화재나 산불 시, 어디까지 주민을 대피시킬지, 어떤 경로로 대피시킬지 계획이 없다면 혼란에 빠짐
 - 2018년 미국 파라다이스 산불의 경우, 도시 전체 대피계획이 미흡했던 것이 드러났는데 좁은 산간 도로 몇 개에 차량이 몰려 교통이 마비되었고, 일부 지역에는 대피 명령이 제때 전달되지 않아 주민들이 화마를 피하지 못함(Industry Insider, 2018)

▶ 각 재난 유형별로 대응의 어려움이 존재

- 지진은 갑작스럽게 광범위한 피해가 나서 초기 지휘 통제가 특히 어렵고, 여진 위험으로 구조대 접근이 제한되기도 함
- 홍수의 경우 광범위한 지역 동시다발 대응이 필요해 한정된 구조인력으로 대응이 어려우며, 물에 잠긴 지역은 접근조차 힘들어짐
- 산불 등 대형 화재는 기후 조건에 크게 영향을 받아 바람 방향과 속도 변화로 대응 전략이 계속 수정되어야 하며, 소방자원과 인력이 집중되지 않으면 속도를 따라가기 어려움
- 결국, 재난 발생 중 단계에서는, 명령체계-소통-자원-현장계획의 어느 하나라도 원활히 작동하지 않으면 대응 실패로 직결되며 이러한 요소들은 상호 연관되어 한 부분의 문제는 곧 전체 대응력의 약화를 초래

3. 재난 발생 후: 수습 및 복구 단계의 실패 요인

▶ 구호 활동의 혼선과 비효율

- 대규모 재난 직후 국내외에서 구호물자와 인력이 몰리지만, 이를 조정하고 조직화하는 시스템 부재로 혼선이 발생
- 현지 정부와의 협조나 피해 현황 데이터 공유가 미흡해 필요 이상의 인력이 한곳에 집중되거나 정작 필요한 지역에는 구호 공백이 생기기도 했음
 - 2010년 아이티 지진 발생 시, 수많은 NGO와 국가들이 의약품, 식량, 텐트를 보냈지만, 공항과 항만의 처리가 마비되고 어떤 지역은 지원이 집중되고, 다른 곳은 방치되는 불균형이 발생(Staff Writer, 2018)
- 이러한 조정 실패는 자원의 낭비와 구호를 받고도 고통이 줄지 않는 상황을 초래

- 재난 직후 구호 단계에서의 관리 체계 부재는 피해자들에게 이중의 고통을 주고 사회적 신뢰를 떨어뜨림

▶ **복구 과정에서의 형평성과 취약계층 소외**

- 재난 후, 복구 정책이 모든 계층을 포용하지 못하면 일부 피해자는 긴 재난의 터널에 남겨지고 특히 사회경제적으로 취약한 이들은 복구 지원에서 배제되거나 더딘 혜택을 받아 “재난 이후의 재난”을 겪게 됨(고동현, 2015)
 - 2015년 네팔 대지진에서는 집을 잃은 수십만 명이 2년이 지나도 임시 천막과 판자촌에서 두 번째 겨울을 보냈음
 - 정부는 헌법과 인권법상 모든 시민의 주거권을 보장해야 하지만, 절차적 조건(토지 문서, 개별 가구 증명 등) 때문에 가장 도움이 필요한 사람들이 오히려 혜택을 받지 못했고, 이들은 빚을 지거나 병에 걸려 더욱 취약해짐 (Amnesty International, 2017)

▶ **공공서비스 복구 지연과 2차 피해**

- 재난 후 기간에 인프라와 공공서비스 복구가 늦어지면 주민 생활이 정상화 되지 못하고 2차 피해가 지속
- 복구 인프라 투자와 실행이 더딜 경우 주민들의 고통이 길어지고, 이 과정에서 환경오염이나 질병 유행 등 2차 재난이 발생하기도 함
 - 2010년 아이티 지진 후 몇 달 뒤 발생한 콜레라 창궐은 초기 식수 위생 관리에 실패한 사례로 거론
- 재난 발생 후 단계에서도 단순히 “시간이 약”이라기보다, 신속하고 체계적인 복구 노력이 없으면 피해가 계속 진행형으로 남게 됨

▶ **심리적, 사회적 지원 부족과 공동체 붕괴**

- 재난은 생존자들의 정신건강과 공동체 연결망에도 깊은 상처를 남김
- 사후 지원이 인프라 복구나 금전 보상에 치중되고, 심리적·사회적 회복 지원이 부족하면 피해는 보이지 않게 지속
 - 2011년 동일본 대지진 생존자들을 9년간 조사한 연구에 따르면, 집을 잃고 공동체가 해체된 노인들의 경우 외상후 스트레스, 우울증, 사회적 고립이 계속 높게 나타남(Koichiro Shiba et al, 2022)

- 공동체 차원에서도, 재난으로 이웃을 잃거나 이주하게 되어 사회적 관계망이 약해지면 회복력이 저하됨
 - 카트리나 후 많은 저소득층 주민이 흩어지면서 지역 공동체 기반이 무너졌고 이로 인해 사회적 복원력(social resilience)이 저하(고동현, 2015)
- 재난 이후 단계의 실패는 단순히 물리적 재건의 실패뿐 아니라, 사람들의 삶과 마음을 복구하지 못한 실패까지 포함
 - 이를 간과하면 재난은 끝난 듯 보여도 개인과 사회에 보이지 않는 상처를 남겨 지속적인 영향을 미침

4. 국내 영남권 대형 산불 대응의 실패 원인

- ◉ 2025년 3월 21일부터 30일까지 발생한 영남권 대형 산불은 역대 최대 규모의 산불피해를 기록했으며 예방, 대응, 복구 단계에서 한계점을 노출
- 국내 산불 발생의 가장 큰 원인은 입산자 실화이며 영남권 대형 산불도 입산자 실화로 시작되어 피해가 확산
 - 지난 10년간('15~'24) 평균 산불 발생 원인별 건수(비중)를 보면, 입산자 실화가 171.3 건(31.4%)으로 가장 높은 비중을 차지
 - 다음으로 쓰레기소각 67.5건(약 12.3%), 농산부산물 소각 60.3건(약 11.1%), 담뱃불 실화 34.8건(약 6.4%), 건축물 화재 비화 34.1건(6.1%) 등의 순(산림청, 2025)
- 산불 예방·대응·복구 전 단계에 걸쳐 구조적 취약성과 제도적 한계로 인해 효과적인 산불 관리에 실패
 - (예방) 소나무 중심의 취약한 산림구조와 고령화된 감시인력, 그리고 드론 등 신기술 활용을 제약하는 규제로 인해 산불 발생을 사전에 차단하지 못함
 - (대응) 분산된 지휘체계와 화재 확산속도를 예측하지 못한 대피시스템으로 인해 신속하고 통합적인 현장 대응에 실패
 - (복구) 사회재난으로 분류되어 자연재난보다 보상수준이 낮고 임시·파편적인 지원체계로 인해 피해주민의 완전한 일상 회복과 지역사회 재생에 한계

표2
영남 산불
재해 대응
실패 원인

구분	원인	세부내용
예방	산림관리의 구조적 취약성	<ul style="list-style-type: none"> 소나무림 중심 산림구조: 전체 산림의 68%가 연소성이 높은 소나무림으로 구성 연료 물질 축적: 숲가꾸기 사업 부족으로 낙엽, 잔가지 등 가연성 물질 과다 축적
	인프라 및 관리 체계 한계	<ul style="list-style-type: none"> 산림청 소속 헬기 50대 중 35대만 투입(15대가 정비 등 문제로 미운행)
	감시체계의 한계	<ul style="list-style-type: none"> 고령화된 감시인력: 산불감시원 평균연령 64.2세(최고령 88세)로 신속 대응 곤란 기술적 제약: 드론 감시활동이 「항공안전법」 규제로 야간·비가시권 비행 제한 인위적 원인 대응 미흡: 산불 원인 31.32%가 입산자 실화임에도 신고 포상제도 미비
대응	지휘체계의 혼란	<ul style="list-style-type: none"> 분산된 지휘권: 산불 규모별로 지휘권자가 변경(중·소형: 시장·군수, 대형: 시·도지사, 초대형: 산림청장) 전문성 부족: 산불 경험이 없는 지방자치단체장의 현장 지휘 기관 간 협조 비효율: 산림청(산림진화) vs 소방청(민가보호)의 이원화된 대응
	주민대피 체계 미흡	<ul style="list-style-type: none"> 예측 시스템 한계: 비화 거리 2km, 확산속도 8.2km/h를 예측하지 못함 대피명령 지연: 화선 도달 후 대피 명령 발령 사례 발생 취약계층 보호 실패: 고령자·거동불편자 맞춤형 대피계획 부재 정보전달 한계: 재난문자 중심의 단순한 전파체계
	동물구호체계 부재	<ul style="list-style-type: none"> 법적 근거 미비: 재난관리체계에 동물구호 조항 부재 반려동물 피해: 1,994마리(사망 1,665마리, 상해 329마리) 피해 발생 가축 피해: 54,835마리 피해로 축산농가 생계 타격
	보상체계의 현실성 부족	<ul style="list-style-type: none"> 자연재난 vs 사회재난 차등 지원: 산불은 사회재난으로 분류되어 지원 한계 보상 수준 미흡: 주택 전파 최대 3,600만 원으로 실제 피해액과 큰 격차 임산물 보상 공백: 송이, 능이 등 다수 임산물이 복구 지원 대상에서 제외
복구	임시 주거 지원 한계	<ul style="list-style-type: none"> 거주기간 제한: 12개월 기본, 연장 시에도 12개월 단위로 제한 재활용 어려움: 기후 특성상 임시주택 보관·재사용 사실상 불가능 커뮤니티 기능 부재: 단순 수용 목적으로 설계되어 공동체 회복 기능 제한
	지방소멸 가속화	<ul style="list-style-type: none"> 인구 유출: 피해 읍면동의 인구 감소가 전체 시·군 감소율보다 심각 소득기반 상실: 송이 등 임산물 피해로 귀촌 청년층 이탈 우려 공동체 갈등: 보상 과정에서 이재민 간 갈등 발생
	재난폐기물 처리 문제	<ul style="list-style-type: none"> 대량 발생: 154만 톤의 재난폐기물 발생으로 처리 역량 한계 부처별 분산 관리: 환경부(일반폐기물), 산림청(수목잔해), 농식품부(폐사체) 등 분산 처리시설 부족: 공공폐자원관리시설 미설치로 민간 위탁 의존
	건강관리 공백	<ul style="list-style-type: none"> 정신건강 지원 미흡: 단기적·일회성 상담 위주, 장기 모니터링 부족 의료 인프라 손상: 병원·약국·보건소 피해로 만성질환 관리 중단 취약계층 건강 불평등: 노인·저소득층 등의 건강관리 서비스 접근성 약화

자료: 주요 언론 보도 및 국회입법조사처(2025) 자료 종합

03 재난대응 해법으로 주목받는 AI와 기상융합

1. 개요

- ◆ 기존의 재난관리 체계가 단계별로 여러 한계점이 있는 상황에서 AI와 기상 융합 기술은 재난대응의 패러다임을 변화시킬 수 있는 대안으로 주목받고 있음
- AI와 기상융합은 재난 전 주기에 걸쳐 기존의 한계를 극복하고 보다 지능적이고 효율적인 재난관리 체계를 구축할 수 있는 기반을 제공
- AI와 기상융합은 재난관리의 전 과정에서 인간의 판단력과 경험을 보완하고 확장하는 역할
 - 패턴 인식, 실시간 상황 모니터링, 자동화된 의사결정 지원 등을 통해 재난대응의 정확성과 신속성을 높이는데 적용

2. 재난 발생 전: AI 기반 예측과 기상융합 시뮬레이션

- ◆ AI 기반 위험 예측 시스템은 과거 재난 데이터, 실시간 기상 정보, 지역별 취약성 지표 등을 종합 분석하여 재난 발생 가능성을 사전에 예측
- 수십 년간 축적된 재난 이력과 환경 데이터를 학습하여 특정 지역과 시점에서의 재난 위험도를 정량적으로 계산
- AI 기반 예측 모델은 기존의 수치 예보 모델보다 훨씬 빠르고 정확하게 예측
 - 패턴 인식, 실시간 상황 모니터링, 자동화된 의사결정 지원 등을 통해 재난대응의 정확성과 신속성을 제고
- 또한, AI는 재난 발생의 복합적 요인들 간의 상관관계를 분석하여 인간이 놓치기 쉬운 위험 신호를 포착
 - 토양 수분 상태, 강수량, 지형 경사도, 식생 분포 등의 데이터를 종합

분석하여 산사태 발생 가능성을 정밀하게 예측하거나, 건물 노후도, 인구 밀도, 지반 상태 등을 고려하여 지진 피해 규모를 사전에 추정

- ▶ **디지털 트윈 기술은 실제 도시나 시설의 가상 복제본을 생성하여 다양한 재난 시나리오를 사전에 시뮬레이션할 수 있는 환경을 제공**
 - 가상 환경에서는 홍수, 화재, 지진 등의 재난 상황을 실제와 같은 조건에서 재현하여 피해 규모와 확산 경로를 예측
 - IoT 센서와 실시간 데이터 연동을 통해 현실과 가상공간이 동기화된 디지털 트윈에서는 실시간 환경 변화를 반영한 시뮬레이션이 가능
 - 강수량, 하천 수위, 댐 저수량 등의 실시간 데이터를 바탕으로 홍수 시나리오를 시뮬레이션하여 침수 예상 지역과 대피 경로를 사전에 계획
- ▶ **가상 시뮬레이션을 통해 재난의 시간적 변화와 공간적 확산 과정을 예측**
- ▶ **이를 통해 재난대응 자원의 최적 배치, 대피를 위한 계획 수립, 취약 지점 보강 등의 사전 대비책을 구체적으로 마련하는데 용이**
- ▶ **AI와 가상융합 기술을 통한 예측과 시뮬레이션은 재난관리의 패러다임을 사후 대응에서 사전 예방으로 전환**
 - 위험 지역의 사전 식별을 통해 구조적 취약성을 미리 보강하고, 예상되는 재난 시나리오에 대비
 - 특히 반복적으로 재난이 발생하는 지역의 근본 원인을 AI가 분석하여 구조적 해결책을 제시
 - 특정 지역의 반복적인 침수 원인을 배수 시설 용량, 지형적 특성, 도시화 패턴 등을 종합 분석하여 파악하고, 근본적인 개선 방안을 도출
 - 가상융합 기술을 통한 주민 교육과 훈련 프로그램을 통해 재난대응 역량을 사전에 강화
 - 가상현실을 활용한 재난 상황 체험 교육이나 증강현실을 통한 대피 경로 안내 시스템 등을 통해 실제 재난 상황에서의 대응 능력을 제고

3. 재난 발생 시: 실시간 분석과 지능형 대응을 지원

- ▶ **재난이 발생하면 SI는 드론, 위성, CCTV 등을 통해 수집되는 데이터를 실시간 분석하여 피해 규모를 파악**
 - 컴퓨터 비전 기술을 활용해 건물 붕괴, 도로 파손, 침수 구역 등을 자동으로 식별하고 피해 정도를 정량화
 - 인간이 접근하기 어려운 위험 지역의 상황도 원격으로 파악하고 이를 통해 구조 활동의 우선순위를 신속하게 결정하고 제한된 자원을 효율적으로 배분
- ▶ **SI는 또한 실시간 데이터를 바탕으로 피해확산 범위와 속도를 예측하여 추가 피해 방지 조치를 선제적으로 제안**
 - 화재의 확산 방향과 속도를 예측하여 대피 구역을 설정하거나, 홍수의 진행 경로를 예측하여 하류 지역에 사전 경고를 발령
- ▶ **가상융합 기술은 재난 현장에서 대응팀에게 실시간으로 정보와 가이드를 제공**
 - 증강현실 기술을 통해 현장 요원의 시야에 건물 구조도, 위험 요소, 대피 경로 등의 정보를 알려줘 신속하고 정확한 대응을 지원
 - 디지털 트윈 환경에서는 실시간으로 변화하는 재난 상황을 가상공간에 반영하여 대응 전략을 수립
 - 특정 지역의 반복적인 침수 원인을 배수 시설 용량, 지형적 특성, 도시화 패턴 등을 종합 분석하여 파악하고, 근본적인 개선 방안을 도출
 - 화재 현장에서 바람 방향과 건물 구조를 고려하여 최적의 소방 전략을 실시간으로 도출하거나, 지진 발생 시 건물의 구조적 안전성을 평가하여 구조 활동의 안전성을 판단
- ▶ **가상공간에서 여러 대응 시나리오를 동시에 시뮬레이션하여 이를 통해 복잡한 재난 상황에서도 체계적이고 효율적인 대응이 가능**
- ▶ **SI는 재난 현장의 복잡하고 급변하는 상황에서 대응 책임자들이 신속하고 정확한 의사결정을 내릴 수 있도록 지원**
 - 다양한 데이터에서 수집된 정보를 분석하여 상황 인식의 정확성을 높이고, 가능한 대응 옵션들의 장단점을 객관적으로 평가하여 제시

- 과거 유사한 재난 상황에서의 성공 사례를 학습하여 현재 상황에 가장 적합한 대응 전략을 추천
- ▶ **실시간 자원 모니터링을 통해 가용한 인력, 장비, 물자의 현황을 파악하고 이를 바탕으로 최적의 자원 배분 방안을 제시**
 - 제한된 자원을 효율적으로 활용하여 최대의 구조 효과를 달성하는 데 중요한 역할

4. 재난 발생 후: 학습과 개선의 선순환

- ▶ **재난대응이 완료된 후 시는 전체 대응 과정을 체계적으로 분석하여 성공 요인과 개선점을 도출**
 - 대응 시간, 자원 활용 효율성, 피해 최소화 정도 등의 지표를 정량적으로 평가하여 대응 체계의 효과성을 객관적으로 측정
 - 특히 실제 재난 상황과 사전 예측 간의 차이를 분석하여 예측 모델의 정확성을 지속 개선하고 이를 통해 시 시스템의 학습 능력을 강화하고 향후 유사한 재난 상황에서의 예측 정확도를 제고
- ▶ **다양한 재난 사례 간의 패턴을 분석하여 재난 발생의 근본적 원인과 취약성 요인을 식별하고 이러한 분석 결과는 정책 수립과 인프라 개선을 위한 과학적 근거로 활용**
- ▶ **시와 가상융합에 기반한 한 재난관리 체계는 재난 경험 데이터로 축적해 지속 학습하고 진화**
 - 새로운 재난 데이터가 축적될 때마다 예측 모델의 정확성이 향상되고, 대응 전략의 효과성이 개선
 - 이러한 학습과 개선의 선순환 구조를 통해 재난관리 체계는 시간이 지날수록 더욱 정교하고 효율적으로 발전할 수 있음
 - 특히 기후변화로 인해 새로운 형태의 재난이 출현하거나 기존 재난의 양상이 변화하는 상황에서도 적응적으로 대응할 수 있는 능력을 확보
- ▶ **이를 통해 획일적인 대응 방식의 한계를 극복하고 지역과 상황에 최적화된 재난관리 체계를 구현**

5. AI와 가상융합 기술의 통합적 효과

- ▶ **AI와 가상융합 기술의 결합은 재난관리 분야에서 시너지 효과를 창출**
 - AI의 데이터 분석과 패턴 인식 능력은 가상융합 기술의 시뮬레이션과 시각화 능력과 연계되어 보다 정확하고 직관적인 재난관리 대안을 제공
 - 특히 실시간 데이터 처리와 시뮬레이션을 통해 동적이고 적응적인 재난대응이 가능해짐
 - 상황 변화에 따라 실시간으로 대응 전략을 수정하고 최적화할 수 있어 예측 불가능한 재난 상황에서도 효과적인 대응이 가능
- ▶ **또한, 다양한 이해관계자들 간의 정보 공유와 협력을 촉진하는 플랫폼 역할을 할 수 있음**
 - 가상공간에서 중앙정부, 지방정부, 응급서비스, 시민 등이 실시간으로 정보를 공유하고 협력할 수 있는 환경을 제공하여 통합적인 재난대응 체계를 구축
- ▶ **이러한 기술 혁신을 통해 재난관리는 단순한 대응 중심에서 예측, 예방, 대응, 복구, 학습의 전 주기를 아우르는 지능형 통합 관리 체계로 발전할 수 있음**
 - 이는 궁극적으로 재난으로 인한 인명 피해와 재산 피해를 최소화하고 사회의 재난 회복력을 높이는 접근법

04 AI와 기상융합 기반 재난대응 사례

1. 지구 단위의 대규모 대응

- ▶ 엔비디아(NVIDIA)는 지구를 가상으로 구현하여 재난대응에 활용
 - 엔비디아는 AI와 기상융합을 활용해 가상의 지구 ‘어스2(Earth-2)’를 만들고 이를 활용하여 재난을 시뮬레이션하여 예측(NVIDIA, 2024)
 - 다양한 기상, 환경 데이터에 활용하여 가상 지구를 구현
 - 가상 세계에 구현한 두 번째 지구이기 때문에 명칭도 어스2(Earth-2)
 - 이전 기후모델과 비교해 연산 속도가 1,000배 빠르고(해상도 12.5배) AI와 기상융합 기반 정교한 기후변화 시뮬레이션이 가능
 - 대만 기상청은 어스2(Earth-2)를 활용해 태풍 진로를 예측
 - AI와 가상 시뮬레이션 기반의 예측 프로그램은 대만과 중국 남부를 강타한 태풍 개미의 예상 경로를 기존 모델보다 더 정확하게 예측(중앙일보, 2024)

그림3
어스2를
활용한 대만의
태풍 예측



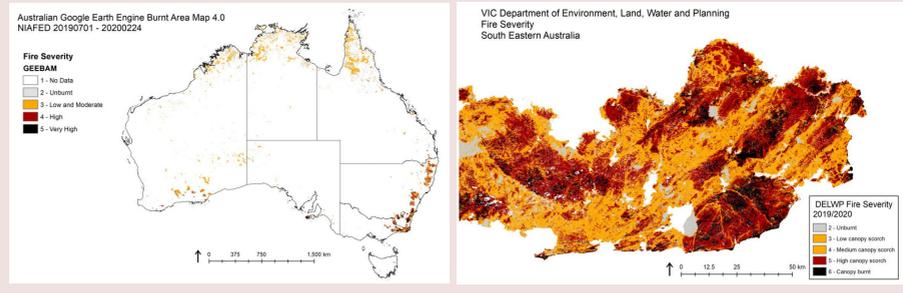
자료: NVIDIA

- ▶ 구글은 지구 전체를 실시간 관측할 수 있는 GEE(Google Earth Engine)을 운영
 - 이 시스템은 수많은 인공위성이 지구를 돌며 촬영한 사진들을 모아서, 연구자들이 지구의 변화를 쉽게 분석할 수 있도록 도와주는 도구(Google, 2025)

- 예를 들어, 아마존 삼림이 얼마나 줄어들고 있는지, 도시가 얼마나 확장되고 있는지, 빙하가 얼마나 녹고 있는지를 위성 사진을 통해 추적
- 50년간의 누적된 글로벌 데이터를 보유하고 있으며, 15분마다 업데이트 되어 데이터를 처리
- GEE에서 시는 위성 데이터의 패턴을 인식하고 예측하는 핵심 도구로 활용
 - 시가 위성 이미지를 학습하여, 인간이 구분하기 어려운 미세한 변화나 복잡한 패턴을 자동으로 탐지
- 시물레이션은 현재 상황을 바탕으로 다양한 미래 시나리오를 테스트해보는 가상 실험실 역할
 - 호주는 GEE를 활용하여 화재 지역을 분류하고 복원과 예방에 활용

[참고] 호주의 산불 피해 지역 분류에 활용된 GEE

- ▶ 산불이 발생한 후 피해 지역을 마치 의료진이 화상 환자의 상태를 등급별로 분류하듯이 네 단계로 구분
 - 첫 번째는 화재 전후 거의 변화가 없는 지역, 두 번째는 나무의 윗부분은 타지 않아서 야생동물들이 피할 수 있는 안전한 곳, 세 번째는 일부는 타고 일부는 살아남은 지역, 네 번째는 완전히 타버려서 나무와 아래 쪽 식물이 모두 사라진 지역
- ▶ 정밀한 분류는 피해 규모를 파악하는 데 그치지 않고, 야생동물들이 어디로 피해야 하는지, 어떤 지역을 먼저 복원해야 하는지, 앞으로 어떻게 산불을 예방할 수 있는지에 대한 구체적인 계획을 세우는 데 직접 활용



- ▶ 유럽연합(EU)은 초정밀 디지털 지구 모델을 구축하는 DestinE(Destination Earth)를 추진
 - 기후변화, 자연재해의 영향을 실시간으로 분석하고, 다양한 시나리오를 시물레이션하여 정책 수립과 대응 전략 마련에 활용하는 것이 목표
 - 2022년부터 시작되었으며 2030년까지 지구의 완전한 디지털 복제본을 완성하는 것이 목표

그림4
EU가 추진 중인
DestinE



자료: DestinE

- 유럽 중기예보센터(ECMWF), 유럽우주국(ESA), 유럽 기상위성 활용기구(EUMETSAT) 세 기관을 중심으로 운영되며 참여 기관이 빠르게 늘어나는 중
 - 참여 기관은 2022년 41개에서 2025년 5월 기준 2,973개로 증가
- 유럽 고성능컴퓨팅 공동사업(EuroHPC JU)의 슈퍼컴퓨터 인프라를 기반으로, AI와 가상융합 기반 실시간 대규모 기후·기상 시뮬레이션이 가능해짐
- 2022년 유럽을 강타한 폭풍 Eunice를 DestinE를 활용하여 조기 감지하여 대응에 활용하였으며(ECMWF, 2024) 이외에도 홍수, 산불, 폭염 등 다양한 재난대응에 적용되고 있음

2. 국가 및 도시 단위의 대응

- ▶ 사우디아라비아는 도시들을 디지털 트윈으로 구현하여 도시 행정, 기획, 재난대응 등 광범위한 용도로 활용
- 네이버(Naver)는 사우디아라비아의 주요 5개 도시를 디지털 트윈으로 제작 중이며 2025년 상반기 기준 메카, 메디나, 제다의 디지털 트윈을 완성(Naver, 2025)
 - 세 도시의 면적은 약 6,800km²로 서울의 11배가 넘으며, 92만 개가 넘는 건물들을 포함
 - 네이버는 리야드와 담맘 등 남은 2곳의 사업도 마무리하고, 향후 사업 지역을 사우디 전역으로 확대한다는 목표(매일경제, 2025)

[참고] 사우디아라비아의 디지털 트윈 추진

- ▶ 디지털 트윈은 도시 계획, 재난대응 등 다양한 용도로 활용
 - 도시 개발 계획 수립 시에는 토공량 계산과 경사도 감지를 통한 지형 분석이 가능
 - 또한, 특정 지역의 가시성과 일조량 시뮬레이션도 지원
 - 건축 설계 데이터를 연동하여 건축법 위반 여부를 확인하는 기능까지 포함
- ▶ 특히 유용한 기능 중 하나는 홍수 시뮬레이션 도구로, 재난대응에 실용적인 도움을 제공
 - 과거 홍수 데이터와 도시 배수 시스템을 기반으로 하여, 고위험 지역을 시각화하고 강우량, 침수높이, 구름의 움직임을 실시간으로 모니터링
 - 사우디는 평소에 건조하나 가끔 발생하는 폭우로 인해 대규모 홍수가 발생하여 피해가 발생한
 - 이에 침수 예상 지역을 미리 파악하고 피해야 할 지역을 알려주는 시스템을 구축



▶ 대만 가오슝(Kaohsiung)시는 시와 디지털 트윈을 활용하여 도시의 재난 회복력(Resilience)을 강화

- 가오슝시는 도시의 공공 인프라 전반을 실시간으로 통합 관리하고, 재난 발생 시 신속하고 정확하게 대응하기 위해서 디지털 트윈 플랫폼을 구축 (Kaohsiung Smart City, 2024)
 - 도시 전역의 사물, 공공 데이터를 통합하고 시각화하여 재난에 대응하고 시설물 안전 모니터링 등 다양한 공공의사결정에 활용(NVIDIA, 2025)
- 실시간 카메라 50,000개 통합, 비디오 데이터 400만 시간 분량 수집, AI 시나리오 300개 이상 활용 등 다양한 데이터, AI, 시뮬레이션을 결합해 디지털 트윈을 구현하고 이에 기반하여 위험을 예측

그림5
가오슝시
디지털 트윈



자료: Kaohsiung Smart City

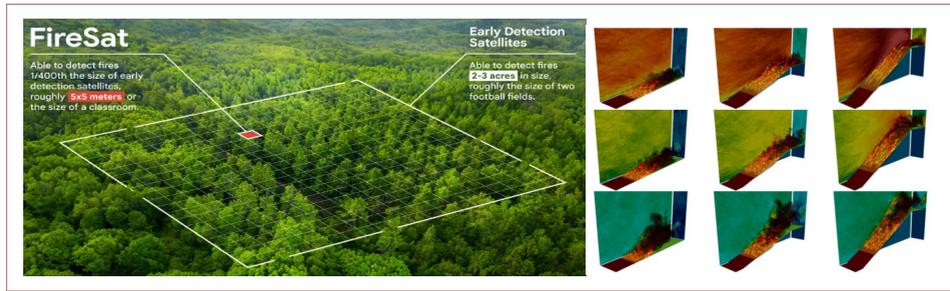
[참고] 대만 가오슝 시의 AI와 디지털 트윈 재난 대응

- ▶ 건축물 구조 안전 모니터링
 - AI를 활용해 건물 상태를 실시간으로 감시하며 지진 등 재난 발생 시 자동으로 건물의 손상 상태를 보고하고, 붕괴 위험을 진단하며 보강 우선순위를 제공
 - 고령 건물, 요양 시설, 주요 기반시설 등으로 확대 중
- ▶ 지진 도로 붕괴 예측 및 구조 동선 계획
 - 가오슝 주변 활성단층에서 발생할 수 있는 규모 6.6~7.2 지진을 가정해 도로 붕괴 시뮬레이션을 수행
 - 이를 통해 구조대의 출동 가능성을 고려한 고위험 구역 분류 및 구조 동선, 대피소 연결망이 구축
- ▶ 가로수 전도 예방 시스템
 - 자체 개발한 기울기 센서를 통해 가로수의 각도 변화를 실시간으로 측정
 - 이상 징후가 감지될 경우 전도 위험 경보를 발송하여 인명 및 재산 피해를 사전 차단
- ▶ 급경사지 모니터링
 - LiDAR 정밀 스캐닝, 3D 항공측량, 경사계, 우량계, 수위계 등을 종합해 경사면의 상태를 정밀 분석
 - AI 기반 알고리즘이 붕괴 위험을 사전 예측
- ▶ 주요 성과
 - 도시 전역의 건물, 도로, 교량, 가로등, 공원, 지하 유틸리티 등의 3D 통합 모델을 구축하여, 디지털 환경에서 인프라를 실시간으로 원격 관리할 수 있게 되어 재난 발생 시 의사결정 속도가 60% 향상, 다기관 협업 기반의 대응 체계를 지원
 - 급경사지의 경우 실제로 2024년 태풍 '카이미(Kaemi)' 당시, 2시간 전 붕괴 경보 발송에 성공
 - 3D 기반 시각화로 현장 점검 횟수 45% 감소, 시뮬레이션을 통해 도시 내 23개 고위험 취약지역 식별

3. 특정 재해 및 상황 대응

- ▶ 구글의 파이어셋(FireSat)은 산불 위험 증가에 대응하기 위해 개발된 AI 기반의 위성 산불 감지 시스템
 - 파이어셋(FireSat)은 5x5 미터, 즉 교실 한 칸 크기의 작은 산불도 20분 이내에 탐지할 수 있도록 설계
 - 기존 위성 감시 시스템이 축구장 크기 이상으로 산불이 커지기 전에는 감지하지 못했던 한계를 크게 개선한 것
 - 기존에는 소방관들은 해상도가 낮거나 하루에 몇 번만 업데이트되는 위성 이미지에 의존해야 했기 때문에 산불이 축구장 크기 이상으로 커지기 전까지 화재를 감지하기 어려웠음(Google, 2024)
 - 산불 초기에 산불의 위치, 크기, 강도 등의 정보를 제공하여 소방관과 응급 구조대원의 신속하고 효과적인 대응을 지원
 - 산불 데이터를 기반으로 산불이 발생하고 확산되는 패턴을 시뮬레이션하여 예측(Google, 2024)

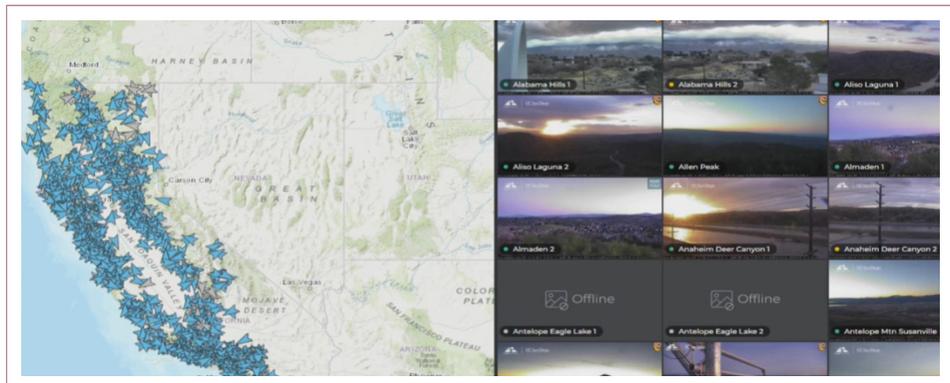
그림6
구글의
파이어셋과
산불확산
패턴



자료: Google

- ▶ 미국 캘리포니아주 소방청에서 운영하는 ALERTCalifornia는 산악 지역에 설치된 1,000여 대의 카메라 영상을 시로 분석하여 화재 발생을 감지
 - 3개월간 911 신고 전에 40%의 산불을 탐지했고, 911과 동시에 또는 더 빨리 포착한 경우까지 합치면 총 68%에 달해 초기 대응을 크게 앞당김
 - 이는 캘리포니아 소방청이 목표로 하는 모든 산불의 95%를 10에이커 이하에서 진압하는 목표 달성에 크게 기여
 - 더욱 중요한 것은 AI 시스템이 계속 학습하고 개선된다는 점
 - 각 화재 사건 후 소방청 직원들이 피드백을 제공하면, 이 데이터로 시가 학습하고 성능을 향상
 - 캘리포니아 소방청은 4년 동안 ALERTCalifornia 프로그램에 2천만 달러 이상을 투자했으며, 이로 인해 구한 생명과 예방된 피해, 그리고 절약된 대응 비용의 가치는 측정할 수 없을 만큼 크다고 평가(NIAC, 2024)

그림7
ALERT
California



자료: 캘리포니아 소방청

▶ Google Flood Hub는 AI를 활용한 홍수 예측 시스템

- 전통적인 홍수 예보 시스템이 단순히 강수량 측정에 의존했다면, Google Flood Hub는 AI와 시뮬레이션을 활용해 다양한 환경 변수 간의 복잡한 상관관계를 학습하고 추론(Google, 2025)
 - 기존 방식이 “강의 수위가 30cm 상승할 것”이라는 추상적인 정보만 제공했다면, Google Flood Hub는 “특정 지역의 특정 건물이 1m 깊이로 침수될 것”이라는 구체적이고 실용적인 정보를 제공
- 복잡한 기상 데이터와 지형 정보를 종합 분석하여 홍수 발생을 최대 7일로 전에 예측하고 시각적으로 정보를 제공
 - 기존 시스템이 2~3일 전 예측을 했으며 7일 예측 기간은 대피를 위한 계획 수립, 구조 자원 배치, 구호물자 준비 등 재해 대응 준비 시간을 제공
- 기존 시스템이 주로 선진국의 데이터가 풍부한 지역에 집중되었다면, Google Flood Hub는 가상 게이지 기술(Virtual Gauges)을 통해 데이터가 부족한 개발도상국 지역에도 서비스를 확대
 - 모델은 데이터가 풍부한 지역에서 학습한 패턴을 바탕으로 데이터가 부족한 지역의 홍수 위험을 추론
 - 기존 방식은 물리적 센서의 설치와 유지 관리가 필요했지만, Google Flood Hub는 위성 데이터와 AI를 활용하여 센서가 없는 지역에서도 예측 서비스 제공이 가능
 - 이는 전 세계 유역의 1%에 불과한 실제 센서 보유율의 한계를 극복하는 혁신적 해결책
 - 높은 홍수 위험에도 대응 능력이 부족한 지역에 중요한 의미가 있음

그림8
Google
Flood Hub



자료: Google

[참고] Google Flood Hub 활용 사례

- ▶ 방글라데시 홍수 대응 사례
 - 방글라데시는 매년 몬순으로 인한 홍수가 발생하는 대표적인 홍수 위험 지역
 - Google Flood Hub는 홍수 발생 7일 전에 예측을 제공했고, 이를 바탕으로 GiveDirectly와 같은 구호 단체가 사전에 취약 계층에게 현금을 지원하여 필수품 구매와 대피 준비를 도울 수 있었음
- ▶ 브라질 리우그란데두술 주에서의 2024년 홍수 대응 사례
 - Google은 지역 지질조사청과 협력하여 200개 이상의 새로운 홍수 모니터링 지점을 추가
 - 이를 통해 정부 당국과 주민들이 홍수에 대한 정확한 정보를 바탕으로 대응할 수 있도록 지원

▶ xView2는 위성과 AI를 활용해 재난 이후 신속하고 정확하게 건물 피해 상황을 자동 판독하고 분류

- 재난 전·후 위성 이미지를 비교 분석해 픽셀 단위로 건물 위치와 손상 정도를 자동으로 추출(Shahrzad Gholami, 2022)
 - 85만 채의 건물, 4만5천km²의 면적에 걸쳐 19종의 자연재해(지진, 홍수, 산불, 허리케인 등)를 아우르는 고해상도 위성 사진과 피해 데이터를 학습(IBM, 2020)
- 피해 등급은 ‘피해 없음’, ‘경미’, ‘중간’, ‘파괴’의 네 단계로 구분해 각각의 건물별 손상 정도를 식별
- 자동화된 피해지도 생성으로 UN, 정부, NGO 등 다양한 조직 간 협력적이고 일관성 있는 대응이 가능

그림9

xView2
재해전(좌)
재해후(중)
피해지도(우)



[참고] xView2 활용 사례

- ▶ 2020년 미국 캘리포니아 산불
 - National Guard가 실제 현장에서 xView2 프로토타입을 적용, 기존 1~2일 소요되던 대형 산불 피해 평가를 10~20분 이내로 단축할
- ▶ 터키·시리아 대지진
 - UN 국제수색구조자문단(ISARAG)이 xView2를 활용해 현장 인력이 인지하지 못한 피해 지역을 신속하게 파악, 수색·구호 활동의 우선순위를 명확히 설정

▶ D-Resilio는 AI와 디지털 트윈 기반 재난대응 플랫폼

- 위성, 센서 등에서 발생하는 대용량 실시간 데이터를 신속하게 처리하고, AI·디지털 트윈을 결합하여 재난 상황을 실시간으로 인지·예측·대응하는 차세대 재난관리 시스템
- NTT 데이터와 AI 기업 VANTIQ가 협력하여 추진하고 있으며 목표는 시시각각 변화하는 재해 상황에 맞춘 실시간 대응과 주민의 특성에 따른 세심한 피난 행동 유도를 통해 재해 대응의 새로운 패러다임을 제시하는 것임
 - 대형언어모델(LLM), AI 에이전트, 가상융합의 연계에 기반해서 각 상황에 맞는 최적의 행동 지침을 실시간으로 제공함으로써 재해 대응의 효율성과 정확성을 높이려는 시도

[참고] D-Resilio 시스템: 정보파악에서 실제 행동으로

- ▶ 아래 그림은 D-Resilio 시스템이 단순한 정보 제공을 넘어서 실제 행동을 유도하는 시스템으로 발전하는 과정을 보여줌
 - 핵심은 “파악하다(상황을 알기)”에서 “행동하다(실제로 움직이기)”로의 변화
- ▶ 왼쪽: D-Resilio Viewer의 현재 모습
 - D-Resilio Viewer는 현재 상황을 시각적으로 보여주는 시스템
 - 화면에는 지도 위에 다양한 색깔의 영역들이 표시되어 있는데, 이는 각 지역의 재해 위험도나 상황을 표시
 - 이 단계에서는 주로 “무엇이 일어나고 있는가?”에 대한 답을 제공하는 것이 주목적
- ▶ 오른쪽: 디지털 타임라인 시스템의 미래 모습
 - 디지털 타임라인 시스템은 단순한 정보 제공을 넘어서 구체적인 행동 지침을 제공하는 시스템
 - 각각 다른 시간대와 상황에 따른 구체적인 행동 계획을 제시(노란색은 긴급행동 사항)
 - 이 단계에서는 “언제 무엇을 해야 하는가?”에 대한 구체적인 답변을 제공
- ▶ 그림 하단은 순환 구조의 의미
 - 그림 하단의 순환 구조는 시스템의 핵심 작동 원리를 보여줌
 - 파악, 행동, 활용이 연결되어 있으며 이는 정보를 파악하고, 그에 따라 행동하며, 그 결과를 다시 시스템에 활용하여 더 나은 의사결정을 만드는 지속적인 개선 과정을 의미
- ▶ 통합 시스템은 과거의 실제 대응 결과를 분석하여 “방재 대책의 최적해”를 찾아내고, 이를 다음 재해 발생 시에 활용하여 더욱 효과적인 시스템으로 성장시킴



▶ Qwake C-THRU는 AI와 증강현실(AR)이 연계된 소방 헬멧

- 화재 발생 시 연기로 앞이 보이지 않는 상황에서 증강현실(AR)로 연기를 투시하고 AI 기반 길 안내를 해주는 헬멧
 - 2024년 국토안보부 산하 과학기술국(DHS S&T) 지원으로 400개를 생산하여 80개 소방서에서 테스트했으며, 화재 현장 탈출 시간을 5배 단축하는 성과(Qwake, 2025)

그림10
Qwake
C-THRU



자료: Qwake

05 시사점

- ▶ AI 100조 원 투자의 구체적 활용 영역으로 재난재해 대응에 주목
 - 재난재해 대응 분야는 국민 생명과 안전에 직결되는 공공성과 산업 가치가 공존하는 영역
 - 2023년 전 세계 안전산업 시장 규모는 약 5376억 달러(약 714조 원)로 10년 전인 2013년 2809억 달러(약 373조 원)와 비교해 91.4% 증가했고 연평균 성장률은 6.7%
 - AI와 가상융합을 효과적으로 활용하여 재난 전 주기에 걸쳐 기존의 한계점을 극복하는 방안 검토
 - AI와 가상융합을 활용한 선제적, 예방적 재난재해 대응 체계를 마련
 - 2025년 영남권 산불과 같은 대형 재난의 피해가 1조 원을 넘는 상황을 고려할 때, AI와 가상융합 기반 사전 예방, 신속 대응이 가져올 경제적인 효과에 주목
- ▶ AI와 가상융합 재난재해 플랫폼 및 인프라 구축 지원
 - 재난 특화 대형 언어 모델(LLM)을 개발하고 다양한 재난 데이터를 통합하여 운영
 - 가상융합과 AI 통합 특화 플랫폼 구축을 통해 다양한 재난 시나리오를 사전 시뮬레이션하고 대처할 수 있는 환경을 조성
 - 주요 도시와 취약 지역을 대상으로 AI 기반 디지털 트윈 플랫폼을 활용하여 재난관리 체계를 강화
 - 특히 재난대응에 필요한 다양한 데이터 통합의 필요성은 재난대응의 성패를 좌우하는 핵심 요소
 - 재난대응을 위해서는 기상 데이터, 지형 정보, 인구 분포, 인프라 현황,

- 과거 재난 이력 등 다양한 데이터가 실시간으로 통합되고 분석되어야 함
- 현재 이러한 데이터들이 기상청, 국토교통부, 소방청, 지방자치단체 등 여러 기관에 분산되어 있어 통합 활용에 한계
- 재난대응을 위한 통합 데이터 플랫폼을 구축하고, 표준화된 데이터 형식, API를 통해 실시간 연동이 가능한 시스템을 구축

▶ 공공 조달 혁신을 통한 재난대응 기술 확산

- 미국 국토안보부의 Qwake C-THRU 헬멧 지원 사례는 공공 조달을 통한 혁신 기술 확산의 사례
- AI와 가상융합 기술을 활용한 재난대응 장비와 시스템 개발을 지원하고, 이를 현장에서 테스트할 수 있는 기회를 제공
 - AI와 가상융합 기반 재난대응 혁신 기술을 정부가 구매하여 테스트하고, 성과가 검증된 기술에 대해서는 대량 구매나 전국 확산을 지원하는 방식을 확대
 - 기업은 초기 시장 창출과 기술 검증 기회를 확보하고 정부는 검증된 재난 기술을 바탕으로 재난대응 역량을 높이는 방안 모색
 - 캘리포니아 소방청이 4년간 2천만 달러를 투자하여 ALERTCalifornia 프로그램을 통해 산불의 68%를 911 신고와 동시 또는 그 이전에 탐지하는 성과를 달성한 사례처럼, 한국도 유망 재난대응 기술에 지속적이고 체계적인 투자를 통해 재난대응 기술 혁신을 도모

▶ 기술적 한계에 대한 인식과 ‘신뢰하되 검증(Trust but Verify)’하는 단계적 접근 필요

- AI와 가상융합 기술을 재난재해 대응에 적용할 때는 기술의 잠재력과 함께 현재의 한계점을 명확히 인식하고 신중한 접근이 필요
- 재난재해는 인명과 직결되는 중대한 문제이기 때문에 기술에 대한 맹목적 신뢰보다는 체계적 검증을 통한 단계적 도입이 바람직
 - 학습 데이터의 품질과 편향성, 새로운 유형의 재난이나 기후변화로 인한 재난 양상 변화에 대한 대응도, 블랙박스 모델의 특성으로 인한 의사결정 근거의 불투명성, 적대적 공격에 대한 취약성 등도 고려해야 할 요소

- 의사결정 과정에 대한 설명 가능성을 확보하여 재난대응 담당자들이 AI의 판단 근거를 이해하고 필요 시, 인간의 판단으로 대체할 수 있도록 유도
 - 초기 인간 전문가의 판단을 보조하는 수준에서 AI를 도입하여 기술의 신뢰성을 검증하고 축적
 - 이후, 특정 영역이나 상황에서 AI의 자율적 판단을 허용하되 인간의 최종 승인 절차를 유지
 - 충분한 검증과 신뢰성이 확보된 후 완전 자율 시스템으로 전환 비중을 높이는 방식으로 접근
 - 시스템 실패에 대비한 백업 체계 구축, 정기적 성능 평가와 개선, 윤리 지침 수립 등도 병행

참고문헌

- 고동현(2015), 사회적 재난으로서 허리케인 카트리나: 정부 실패와 위험 불평등, 「한국사회정책」, 2015 vol.22, no.1, pp.83 - 119.
- 국가물관리위원회 (2024). “기후변화로 인한 유역별 극한 강수량의 미래 변화 분석”.
- Australian Government (2020). “Australian Google Earth Engine Burnt Area Map”.
- Climate Central (2024). “Billion-Dollar Disaster Seasons”.
- ECMWF (2024). “Destination Earth’s digital twins and Digital Twin Engine – state of play”.
- Environment America Research & Policy Center (2025). “There were 27 major climate-related disasters in the U.S. in 2024”.
- Gholami, Shahrzad, Robinson, Caleb, Ortiz, Anthony, Yang, Siyu, Margutti, Jacopo, & Birge, Cameron (2022). “On the Deployment of Post-Disaster Building Damage Assessment Tools using Satellite Imagery: A Deep Learning Approach”, 2022 IEEE International Conference on Data Mining Workshops (ICDMW), 28 November - 01 December 2022.
- Munich Re (2025). “Natural disasters 2024 - a loss-heavy year for the insurance market”.
- National Infrastructure Advisory Council (2024). “Reimagining disaster response and resiliency”.
- NOAA National Centers for Environmental Information (2025). “Billion-Dollar Weather and Climate Disasters”.
- Petak, W. J. (1985). “Emergency management: A challenge for public administration. Public Administration Review”, 45, 3-7.
- Shiba, Koichiro, Hikichi, Hiroyuki, Okuzono, Sakurako S., VanderWeele, Tyler J., Arcaya, Mariana, Daoud, Adel, Cowden, Richard G., Yazawa, Aki, Zhu, David T., Aida, Jun, Kondo, Katsunori, & Kawachi, Ichiro (2022). “Long-Term Associations between Disaster-Related Home Loss and Health and Well-Being of Older Survivors: Nine Years after the 2011 Great East Japan Earthquake and Tsunami”. *Environmental Health Perspectives*, 130(7).
- Staff Writer (2018). “Using lessons from Haiti earthquake to improve humanitarian aid. Harvard School of Public Health”.
- U.S. Fire Administration (2015). “Operational Lessons Learned in Disaster Response,

FEMA”.

UNDRR (2024). “Sendai Framework Monitor: Decrease in global disaster mortality, rise in affected populations”.

World Wildlife Fund (2024). “Is climate change increasing the risk of disasters?”

Amnesty International(검색일: 2025.7.7.), Nepal: Two years on, the government continues to fail marginalised earthquake survivors,

<https://www.amnesty.org/en/latest/press-release/2017/04/nepal-two-years-on-the-government-continues-to-fail-marginalised-earthquake-survivors/#:~:text=Denied%20adequate%20housing%2C%20earthquake%20survivors,a%20injuries%20from%20snake%20bites.>

Climate Central(검색일: 2025.7.7.), 2023: 5th-Hottest U.S. Year with Record Billion-Dollar Disasters,

<https://www.climatecentral.org/climate-matters/2023-5th-hottest-us-year-with-record-billion-dollar-disasters.>

Google(검색일: 2025.7.7.), A planetary-scale platform for Earth science data & analysis, <https://earthengine.google.com/>.

Google(검색일: 2025.7.15.), A breakthrough in wildfire detection: How a new constellation of satellites can detect smaller wildfires earlier,

<https://blog.google/outreach-initiatives/sustainability/google-ai-wildfire-detection/>

Google(검색일: 2025.7.15.), Advanced Flood Hub features for aid organizations and governments,

<https://blog.google/technology/ai/advanced-flood-hub-features-for-aid-organizations-and-governments/>.

Google(검색일: 2025.7.15.), FireBench: Using high-performance computing to advance machine learning and wildfire research,

<https://research.google/blog/firebench-using-high-performance-computing-to-advance-machine-learning-and-wildfire-research/>.

IBM(검색일: 2025.7.12.), A look at IBM’s approach to a challenge on using satellite imagery to identify buildings and rate the amount of damage they suffered after a natural disaster, <https://www.ibm.com/think/insights/the-xview2-ai-challenge.>

Kaohsiung Smart City(검색일: 2025.7.15.), Digital Twin 5D Smart City Public Works Management and Decision Support Platform,

<https://smartcity.kcg.gov.tw/en/cp.aspx?n=126F8ED97D6C1620>.

Naver(검색일: 2025.7.15.), Unveils Digital Twin Platform for Mecca, Medina, and Jeddah in Saudi Arabia,

<https://www.navercorp.com/story/storyDetail?seq=32496>.

NVIDIA(검색일: 2025.7.15.), City-Scale AI with Digital Twins,

<https://www.nvidia.com/en-us/on-demand/session/gtc25-S71824/>.

“19명, 12명, 159명... 그리고 50명, 이걸 정부 시스템의 실패다”, 오마이뉴스, 2023.7.20.

“산사태 덮친 뒤에야 대피 명령·경상북도·예천군 대비도 대응도 늦었다”, MBC 뉴스, 2023.7.17.

“이해진의 ‘IT 중동특수’ 꿈이 무르익는다”, 매일경제, 2025.6.10.

“총체적 부실 여실히 보여준 대형 산불...지자체장들 이대론 안돼”, 경향신문, 2025.3.30.

“태풍 ‘개미’ 경로 맞춘 엔비디아 AI, 한국도 공동 연구 나섰다”, 중앙일보, 2024.0.31.

“An act of God caused the earthquake in Turkey – murderous corruption caused so many deaths”, The Guardian, Wed 15 Feb 2023.

“Better coordination needed in worldwide disaster response after Haiti failures, medics say”, South China Morning Post, 5 Dec 2016.

“Camp Fire Aftermath: ‘Technology, the Thing I Trust Most, Failed’”, Industry Insider, December 16, 2018.

“Total Harvey cost could be as high as \$100bn, says insurance expert”, The Gardian, 29 Aug 2017.

이 자료는 **국회미래연구원 홈페이지**(www.nafi.re.kr) 및
열린국회정보(open.assembly.go.kr)에서 확인하실 수 있습니다.

