제10호
2026년 10월

WATER & TECH INSIGHT

ISSUE & TREND
극한 엘니뇨와 물관리 패러다임

Trend Keyword
AI 토큰 이코노미 / 멀티모달 AI / 버티컬 AI / AI 팩토리

DEEP DIVE
경쟁이 성과목표를 높이고, 혁신이 도전을 뒷받침한다
자연어처리를 이용한 수자원 분야 연구 트렌드 분석

SNAP SHOT
'기후보험', 재난 피해 보상에서 기후위험 관리로 外

Water & AI Special
에이전트 시대의 보안, 해킹하는 AI와 검증하는 AI 外

NEWs & EVENTs

K water 연구원
K-water Research Institute

CONTENTS

ISSUE & TREND	• 극한 엘니뇨와 물관리 패러다임	2
Trend Keyword	• Trend Keyword(Radar)	11
	• AI 토큰 이코노미 / 멀티모달 AI / 버티컬 AI / AI 팩토리	12
DEEP DIVE	• 경쟁이 성과목표를 높이고, 혁신이 도전을 뒷받침한다	14
	• 자연어처리를 이용한 수자원 분야 연구 트렌드 분석	20
SNAP SHOT	• '기후보험', 재난 피해 보상에서 기후위험 관리로	28
	• 물산업의 미래를 준비하는 국제표준	29
	• AI 이미지 학습을 활용한 수돗물 미세 이물질 분석기술	30
	• 진동으로 댐을 분석하다 – 최신기술로 보는 댐안전 모니터링	31
	• 국제 공동연구를 통한 '수소 생산-저장 일체형 시스템' 개발	32
Water & AI Special	• 에이전트 시대의 보안, 해킹하는 AI와 검증하는 AI	33
	• 생성형 AI 三國志, 진화와 최신 트렌드	34
NEWS & EVENTS	• K-water연구원 주요 소식	36

본지에 게재되는 내용은 저자 개인의 견해이며,
저자의 소속기관이나 본지의 공식 견해를 대변하는 것은 아닙니다.

ISSUE & TREND

- 극한 엘니뇨와 물관리 패러다임

극한 엘니뇨와 물관리 패러다임

K-water연구원 수자원환경연구소 장수형 소장, 허영택 팀장, 강태호 선임, 서가영 선임

■ 극한 엘니뇨는 전 세계적으로 가뭄·산불·홍수 등 이상기후를 유발하며, 한반도에서는 계절·지역별 강수와 태풍의 특성을 변화시켜 물관리의 불확실성을 높임

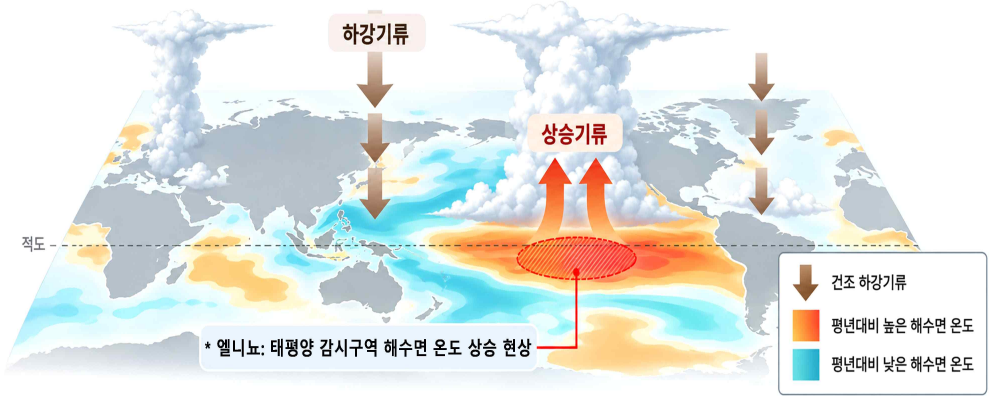
■ 이에 대응하기 위해 엘니뇨 발달 과정의 감시부터 유역별 기상·수문 전망, 복합재난 위험평가까지 연계하는 선제적 물관리 체계 강화 필요

01 극한 엘니뇨 전망

□ 엘니뇨(El Niño)의 개념과 강도

◦ (**엘니뇨**) 엘니뇨 감시구역(태평양 적도 부근의 동부)의 해수면 온도 상승(0.5℃ 이상)으로 대류와 강수의 발생지역이 서태평양(평상시)에서 동태평양(엘니뇨기간)으로 그림과 같이 뒤바뀌는 현상

【 엘니뇨 현상과 그에 따른 기류 변화 】



◦ (**극한 엘니뇨**) 극한 엘니뇨 현상은 엘니뇨 감시구역의 해수면 온도가 평년 대비 2℃ 이상 상승했을 경우를 뜻하며, 1950년 이후 1997~1998년과 2015~2016년 등 드물게 발생

엘니뇨 강도 구분	영문구분(WMO)	구분 기준 (평년 대비 감시구역 해수면 온도)
극한 엘니뇨*	Very Strong	**+2.0℃ 이상 해수면 온도 상승**
강한 엘니뇨	Strong	+1.5℃ 이상
보통 엘니뇨	Moderate	+1.0℃ 이상
약한 엘니뇨	Weak	+0.5℃ 이상

* 언론에서는 '슈퍼 엘니뇨'라는 용어를 사용하지만, 세계기상기구(WMO)의 공식 분류 체계에는 없는 용어임

□ 2026~2027년 극한 엘니뇨 전망과 영향

◦ **(발생 전망)** 국내외 기상기관은 **2026년 겨울 역대급 극한 엘니뇨의 발달 가능성 제시**

- **(한국 기상청)** 10~12월 동안 엘니뇨 감시구역 해수면 온도의 지속적 상승으로 2026년 겨울 극한 엘니뇨로 발달할 것으로 전망함 (2026.9.23. 발표)
- **(미국 해양대기청)** 2026년 겨울에 극한 엘니뇨 발생 확률 90% 전망, 1950년 이후 가장 강력한 엘니뇨 기록 가능성 제시 (2026.10.8. 발표)

◦ **(발생 추이) 극한 엘니뇨**(`97~`98년, `15~`16년, `26~`27년) **발생 주기가 짧아지고 강도 증가 양상**

◦ **(전 세계 영향)** 과거 극한 엘니뇨 시기 서태평양 인근에서는 대규모 가뭄·산불이, 동태평양에서는 극단적 홍수 등 영향으로 수백억 달러 규모의 경제적 피해 발생

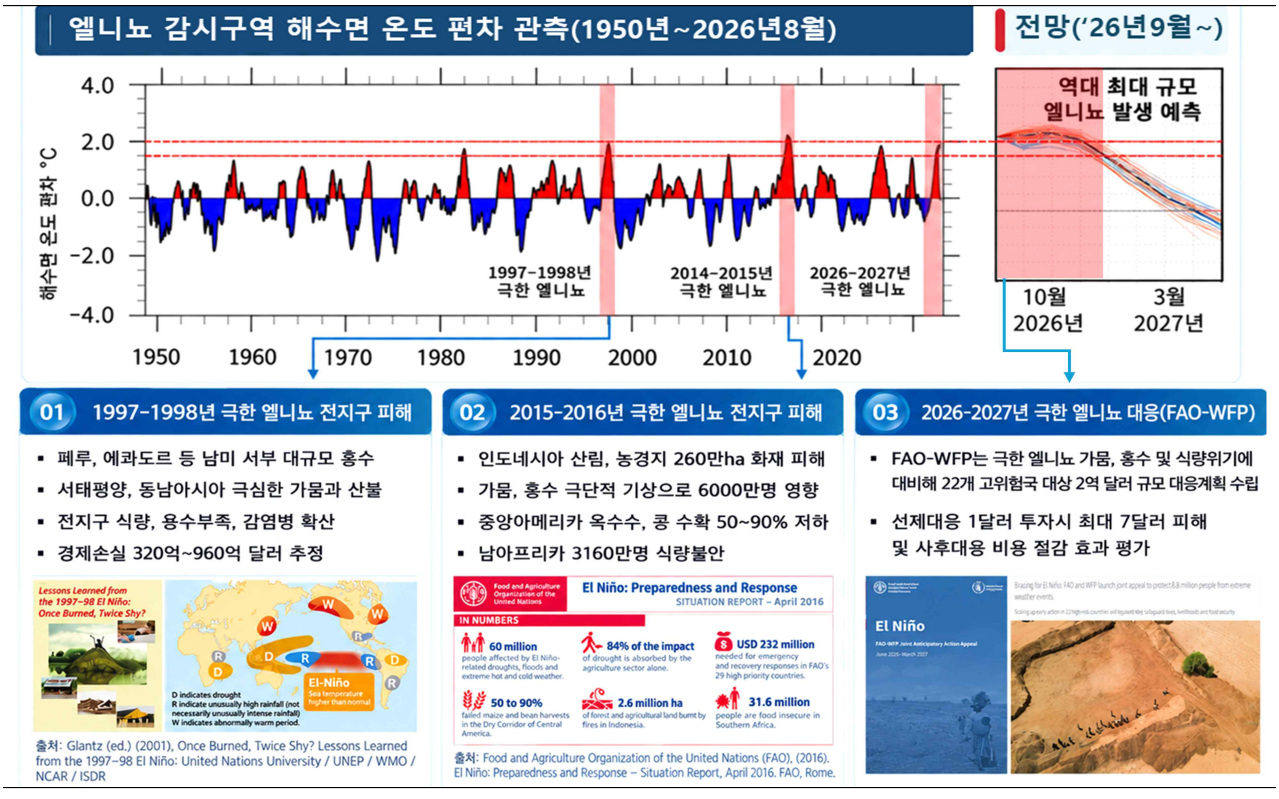
◦ **(대응 현황)** UN 산하 기구인 FAO(Food and Agriculture Organization)와 WFP(World Food Programme)는 22개 고위험국 대상으로 2억 달러 규모 선제적 대응* 계획 수립(`26.6)

* 물 저장 및 집수시설 확보, 홍수 방어시설 구축, 조기경보, 내건성 종자 배포 등

【 FAO 및 WFP의 우선 대응 주요 국가 】

지 역	우선대응 국가	주요 극한 엘니뇨 영향 평가
아프리카	카메룬, 에티오피아, 케냐 등 12개 국가	가뭄·홍수, 농업생산 감소 등 식량안보 악화
아시아·태평양	아프가니스탄, 파키스탄, 필리핀, 동티모르	가뭄·홍수·폭풍, 작물·축산 피해
중남미·카리브	콜롬비아, 엘살바도르, 과테말라 등 6개 국가	건조화·농업가뭄, 식량생산·생계 악화

【 극한 엘니뇨 발생 추이와 국제사회 대응 】



02 극한 엘니뇨 시기 한반도 이상기후 영향

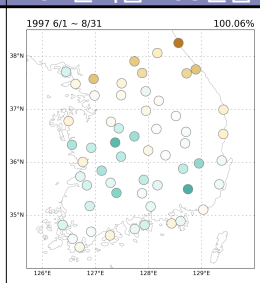
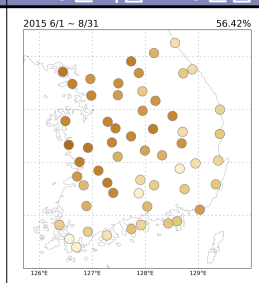
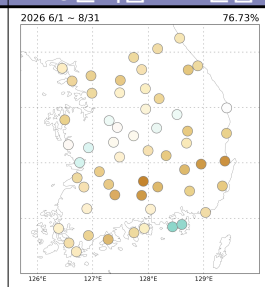
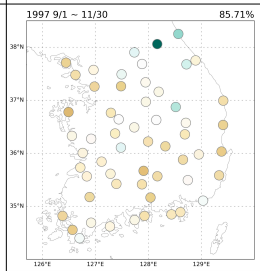
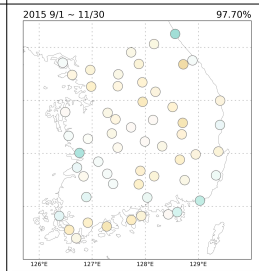
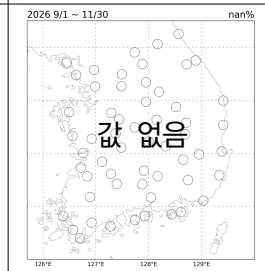
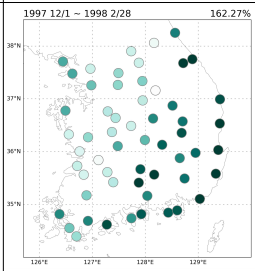
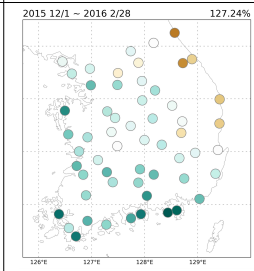
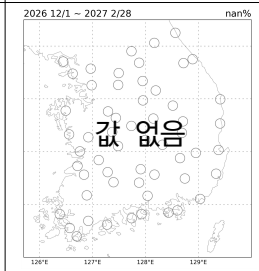
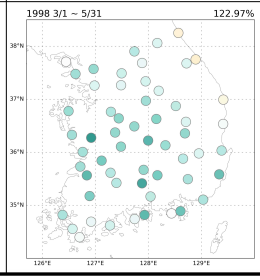
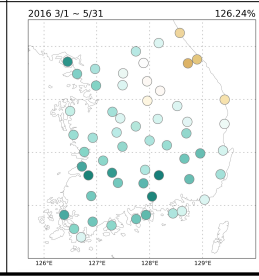
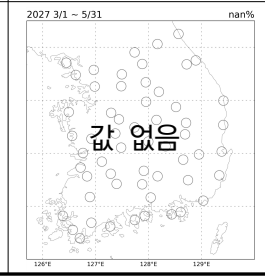
□ (강 수) 계절별·지역별 기상·기후 변동성 확대

◦ **(여름철)** 엘니뇨 발달 초기인 6~8월, 지역과 시기에 따라 큰 강수 편차

- **(마른장마)** 2015년과 2026년에는 장마철 강수 부족으로 전국적 가뭄이 발생하였으나, 일부 지역에서는 높은 강우강도의 집중호우 발생
- **(집중호우)** 1997년의 강수 발생일수는 평년보다 적었으나, 강한 집중호우가 제주를 제외한 전국에 여러 차례 발생하여, 평년 대비 6~8월 누적 강수량은 증가

◦ **(겨울·봄)** 엘니뇨 발달이 절정에 다다르는 시기로 한반도 강수량이 평년보다 증가하는 경향이 나타나지만, 실제 수자원 확보 효과는 강수의 시기·강도와 유역별 조건에 따라 달라짐

【 극한 엘니뇨 발생연도의 평년 대비 강수량(%) 변화 】

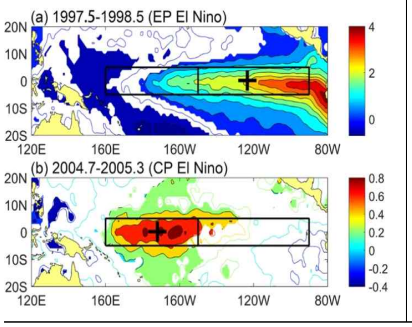
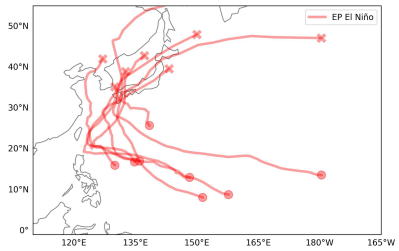
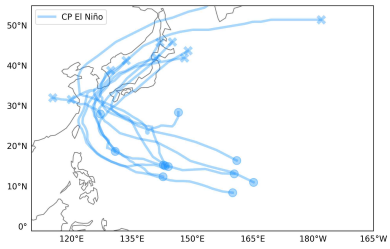
기간	요약	'97년여름~'98년봄	'15년여름~'16년봄	'26년여름~'27년봄	범례
여름 (6~8월)	전국적으로 강수량이 평년 대비 감소하는 경향(25~50%감소)을 보이나, 일부 지역의 집중호우로 지역적 변동성이 크게 나타남				
가을 (9~11월)	전국적으로 평년 대비 강수량이 약하게 감소하는 경향 (전국 평균 10% 내외 감소 경향)				
겨울 (12~2월)	남부 지역을 중심으로 전국적으로 평년 대비 강수량이 뚜렷하게 증가하는 경향 (전국 평균 1.3~1.6배 증가)				
이듬해 봄 (3~5월)	전국적으로 평년 대비 강수량이 증가하는 경향을 보임 (전국 평균 1.2배 증가)				

* 표에서 그림은 기상관측 지점별 평년 대비 강수량 변화 비율로 1 이상(이하)인 경우 평년 대비 강수 증가(감소)를 의미함

□ **(태 풍)** 엘니뇨 발생 위치에 따른 **태풍경로와 강도 변화**

◦ **(태풍경로)** 동태평양(Eastern Pacific) 엘니뇨에서는 한반도 관통 태풍이 적게 나타난 반면, 중태평양(Central Pacific) 엘니뇨에서는 한반도로 이동하는 태풍이 상대적으로 증가하는 경향

【 과거 40년(1987~2026) 8~10월 한반도 영향 태풍 중 EP, CP 엘니뇨 사례 】

EP, CP 엘니뇨 발생 구역 차이	EP 엘니뇨 한반도 영향 태풍 경로	CP 엘니뇨 한반도 영향 태풍 경로
	 * EP 사례별 태풍경로로 한반도를 직접 관통할 가능성이 낮은 경향을 보임	 * CP 사례별 태풍경로로 한반도를 관통하는 태풍빈도 증가 경향 확인

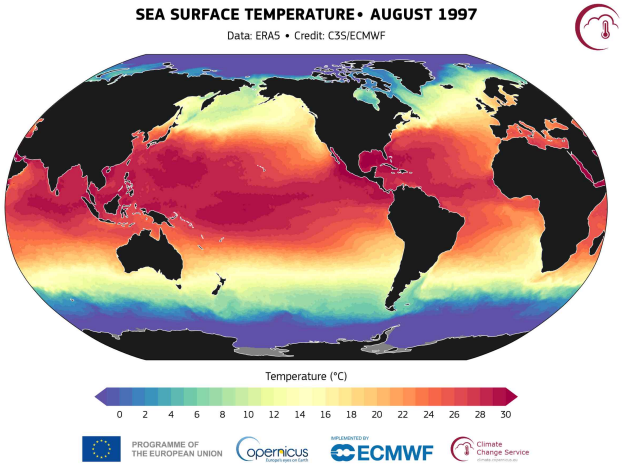
※ 그간 발생한 3차례의 '극한 엘니뇨'는 모두 동태평양(EP엘니뇨)에서 발생하였으며, 이로 인해 약 1건씩의 태풍이 8~10월 중 한반도에 간접영향을 영향을 미침

【 극한 엘니뇨(EP)에 따른 한반도 영향 태풍(간접영향 포함) 수 】

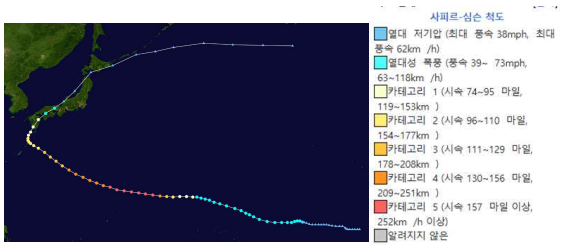
기 간	1997년	2015년	2026년
8월 (평년: 1.2)	0	1	0
9월 (평년: 0.8)	1	0	0
10월 (평년: 0.1)	0	0	1
8~10월 합계 (평년: 2.1)	1 (상륙태풍은 없음)	1 (상륙태풍은 없음)	1 (상륙태풍은 없음)

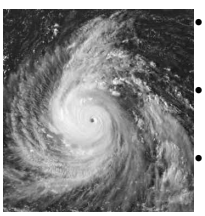
◦ **(태풍강도)** 엘니뇨의 해에는 높은 해수면 온도가 태풍의 강도를 증가시켜, 태풍이 한반도에 직접 상륙하지 않더라도 강풍, 높은 파도, 강수 증가 등 간접 피해 가능성 존재

【 1997년 9월 극한 엘니뇨 해수면 온도 】



【 1997년 9월 태풍 올리와 한국 간접영향 】





- 태풍으로 발달한 지 약 12시간 후 급격한 강화로 슈퍼태풍으로 발달
- 일본에 직접영향으로 15만 달러 추정 피해와 3만 명 이재민 발생
- 한국은 간접영향. 일부지역(경상도, 제주 등) 강풍, 높은 파도로 28척 선박 파손 영향

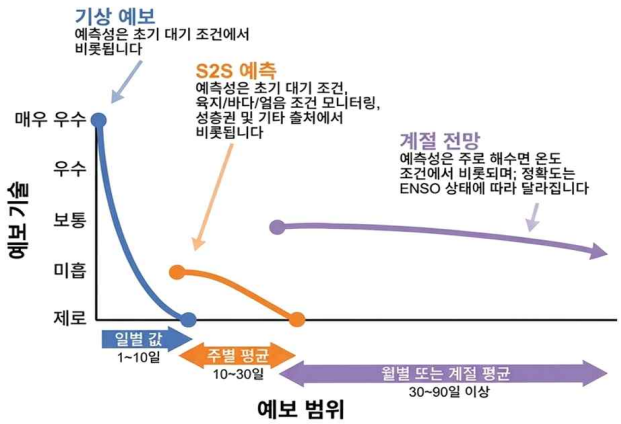
03 극한 엘니뇨에 따른 물관리 불확실성 증가

□ **(전망의 한계)** 높은 기상변동성 대비 낮은 예보 정확성 및 해상도로 유역단위 물관리 불확실성 증가

◦ **(전망 신뢰도)** White 등(2017)에 따르면 **중장기[30~90일] 기후전망 기술**은 평년과 유사한 기후 변동에서는 보통 수준의 신뢰도를 보이지만, **2026년과 같은 극한 엘니뇨 시기에는 신뢰도 저감**

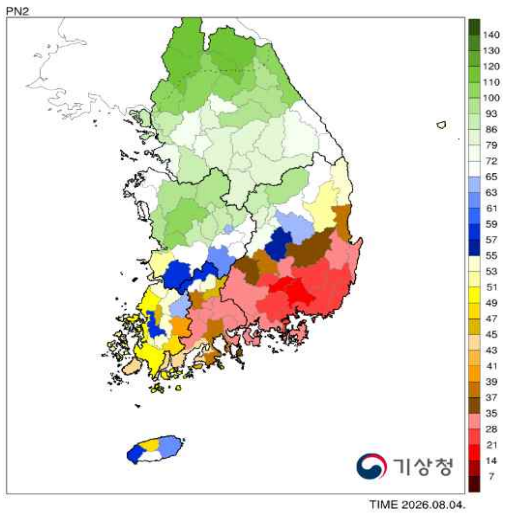
◦ **(공간적 한계)** 2026년 6~7월 사례(아래 그림 참조)와 같이 인접 지역 간에도 강수량 차이가 크게 나타나, 광역단위의 전반적 기상 전망만으로는 유역단위의 위험평가에 한계

【예보 범위에 따른 예보 기술 수준】



* 출처: White et al. (2017), Potential applications of subseasonal-to-seasonal (S2S) predictions. Met. Apps, 24.

【2026년 6월~7월 관측 강수량 평년비(%)】



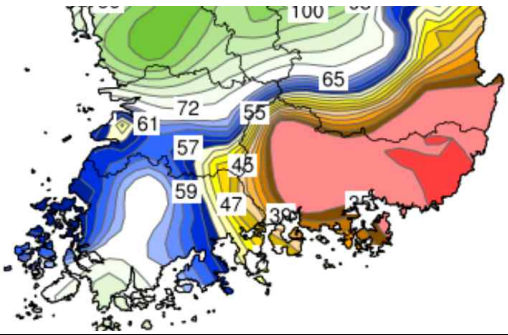
□ **(복합 위험) 가뭄과 집중호우의 급격한 전환**으로 복합적 위험 증가

◦ **(위험의 급변)** 극한 엘니뇨 시기에는 같은 계절 안에서도 가뭄과 집중호우가 연이어 발생할 수 있어, 수자원 확보와 홍수위험 대응을 함께 고려해야 하는 상황 발생

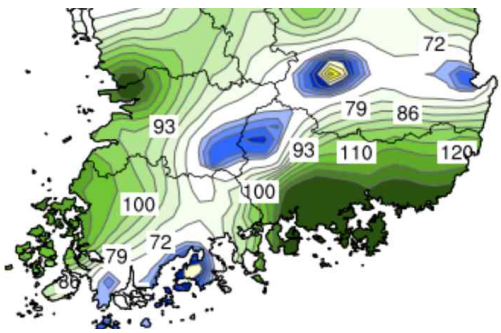
◦ **(2026년 경남 사례)** 6~7월 강수 부족(마른장마)으로 가뭄 우려가 나타났으나, 8월 16~17일 100년 빈도에 가까운 극한호우 발생으로 남강댐 및 인근유역에서 홍수위험의 급격한 증가 경험

【 2026년 경남지역 강수 양상의 급격한 변화 】

<6~7월 관측 강수량 평년비(%)>



<8월 관측 강수량 평년비(%)>



* 자료원: 기상청 수문기상 가뭄정보 시스템 누적강수량 현황(강수량 평년비)

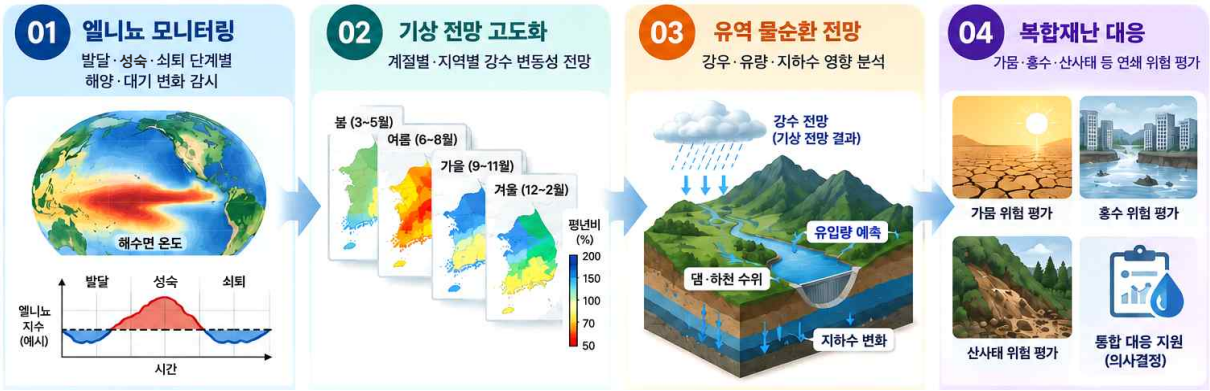
04 엘니뇨 대응 물관리 기술 패러다임 전환

※ K-water연구원은 엘니뇨 기후위기 대응 강건한 물관리 기술 확보를 목표로 2024년 장기 R&D 로드맵을 수립하고 핵심 기반 기술을 개발 중이며, 2026년 극한 엘니뇨 발달에 따라 관련 기술 시범적용 및 실증 수행

□ (기술 방향) 기후변동 감시부터 복합재난 대응까지 연계하는 기술체계 구축

◦ 극한 엘니뇨에 따른 강수 변동성과 물관리 불확실성에 대응하기 위해, K-water연구원은 **① 엘니뇨 모니터링→ ② 기상전망 고도화 → ③ 유역 물순환 전망 강화 → ④ 복합재난 대응으로 이어지는 물관리 기술 체계 전환 추진**

【 극한 엘니뇨 대응 물관리 기술개발 방향 】



① **(엘니뇨 모니터링)** 극한 엘니뇨 등 기후변동 전환의 조기 감지

◦ **(전주기 감시)** 엘니뇨 전주기(발달-성숙-쇠퇴) 과정에서 해수면 온도와 대기순환 변화를 지속적으로 관측·분석하여 기후변동의 진행 상황 파악

◦ **(영향평가)** 안정적인 연간 수자원 관리를 위해, 6개월 이상 엘니뇨 예측에 기반한 계절별 강수·태풍 영향의 전망 기술을 개발 중('25~'28년)이며, 2026년 극한 엘니뇨에 시범 적용·평가

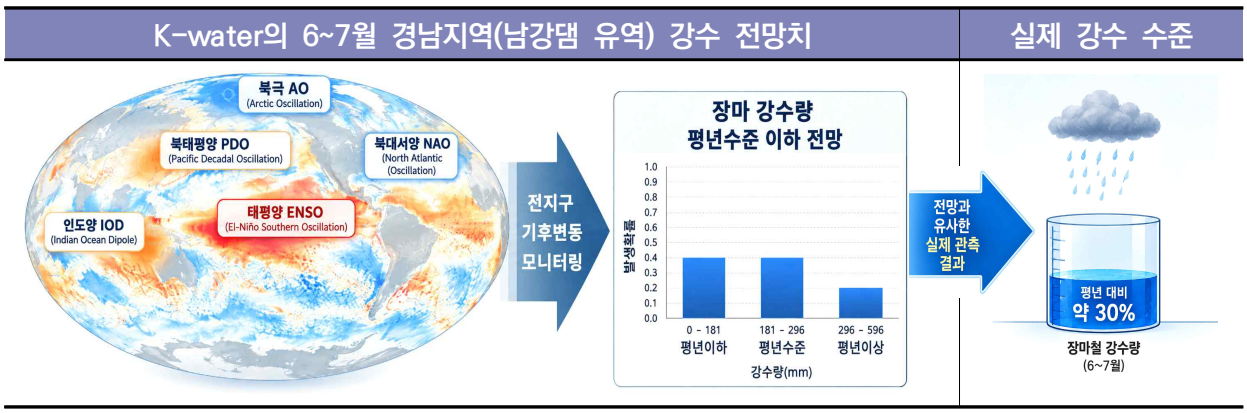
【 '26년 극한 엘니뇨 발생 전망에 따른 연간 수문기상 영향 평가 】

K-water 강수·태풍 영향 전망	
실 관측결과 (9월까지)	한반도 상륙 태풍 0건(7~10월), 전국 강수량 감소(7~9월) 및 남부지역 강수량 증가(8월) 확인

② **(기상 전망 고도화)** 극한 엘니뇨 등 이상 기후변동으로 인한 유역별 강수 영향 분석

◦ **(기술개발)** 전 지구적 기후변동 정보를 활용하여 계절별·유역별 강수 변화를 전망하는 기술개발('25~'28년)을 추진하여 기상전망의 활용성과 예측신뢰도 도모

◦ **(적용성 평가)** 2026년 경남지역의 6~7월 강수전망과 실제 관측 결과를 비교하여, 강수 부족 시기 및 지역적 변동성에 대한 기술의 예측 성능을 평가, 실제 수준과 근접 확인

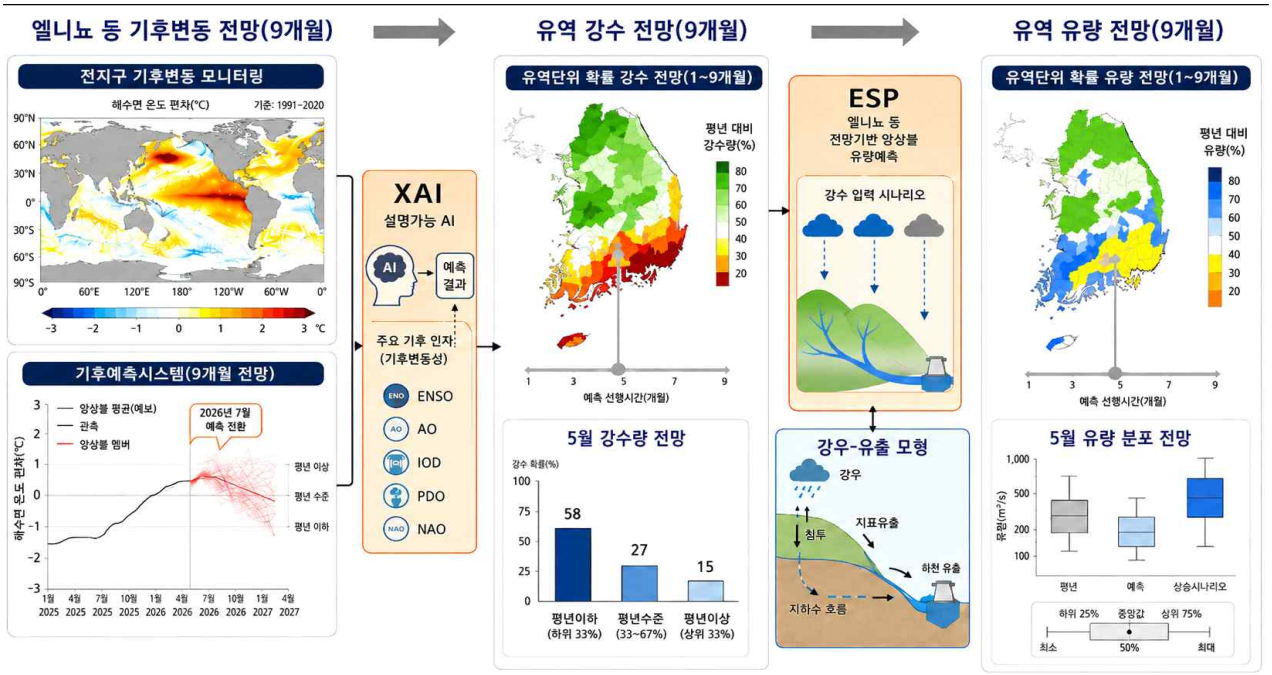


③ **(유역 물순환 전망)** 극한 기후변동에 따른 강수 전망을 수자원 정보로 전환

◦ **(전망체계 연계)** 전 지구적 기후변동 전망을 기반으로 유역단위 극한호우 등 여러 가능 시나리오를 예측하고, 이를 수문모형에 적용하는 앙상블 유량예측(ESP) 기술 개발('27~'31년)

◦ **(수자원 영향평가)** 엘니뇨 발달 과정에 따른 유역별 극한호우 및 유량 전망과 수자원 변화를 분석하여, 가뭄·홍수 위험을 사전에 평가하고, 중장기 물관리 의사결정 지원

【 엘니뇨 등 전지구 기후변동 모니터링 기반 유역단위 기상·수문 전망 기술 흐름도 】



④ **(복합재난 대응)** 극한 기후변동과 맞물린 연쇄 복합재난 위험 통합 평가체계 구축

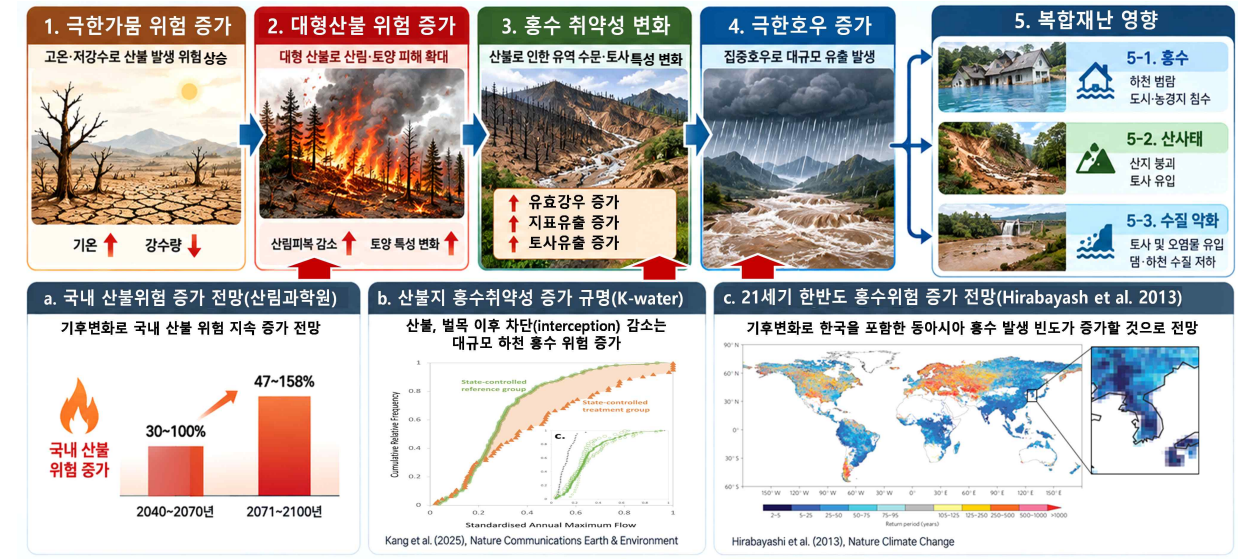
◦ **(복합위험 분석)** 가뭄·산불·홍수·산사태·수질악화 등 재난을 각각 독립적으로 해석하는 것이 아닌, 서로 영향을 미치는 과정을 통하여 위험이 더욱 강화되는 복합재난을 통합 연계해 분석

* '25년 경북지역에 발생한 대형 산불 피해지역을 대규모 실험지역으로 설계하여, 이상기후-복합재난 간 관계를 규명할 수 있는 관찰 시스템 시범 구축 및 영향 분석 예정('27년)

* 극한 엘니뇨 등 이상기후로부터 가뭄-산불-홍수-토사유출-수질악화로 전이되는 복합재난을 통합 연계해 관찰하고 장기 영향을 예측할 수 있는 체계 구축 추진('28~'32년)

◦ **(재난대응 강화)** 기상·수문 전망과 복합재난 위험평가를 연계하여 위험의 발생 가능성과 영향을 사전에 파악하고, 극한 이상기후 상황에서도 안정적인 물관리 추진

【 엘니뇨 등 극한 기후변동에 따른 연쇄 복합재난 발생과정과 물관리 영향 】



※ 참고자료 1) Food and Agriculture Organization. (2023). El Niño: Anticipatory action and response plan (October 2023–March 2024). Food and Agriculture Organization of the United Nations

2) Food and Agriculture Organization, & World Food Programme. (2026). El Niño: FAO–WFP joint anticipatory action appeal (June 2026–March 2027). FAO and WFP

3) Jin et al. 2013: Critical Role of Northern Off-Equatorial Sea Surface Temperature Forcing Associated with Central Pacific El Nino in More Frequent Tropical Cyclone Movements toward East Asia. J. Climate, 26.

4) Strahilevitz, M. A., Odean, T., & Barber, B. M. (2011). Once burned, twice shy: How naive learning, counterfactuals, and regret affect the repurchase of stocks previously sold. Journal of Marketing Research, 48(SPL), S102-S120

5) White, C.J., Carlsen, H., Robertson, et al. (2017), Potential applications of subseasonal-to-seasonal (S2S) predictions. Met. Apps, 24: 315-325

6) 미국 해양대기청 엘니뇨 현황 및 전망 (ncei.noaa.gov/access/monitoring/enso)

TREND KEYWORD

- Trend Keyword(Radar)
- AI 토큰 이코노미 / 멀티모달 AI / 버티컬 AI / AI 팩토리

Trend Keyword(Radar)

※ `26년 8~10월 발간된 글로벌 보고서 5종의 핵심 키워드들을 교차 분석해 워드클라우드 생성(글자 크기가 클수록 여러 보고서에서 공통 강조). 키워드 분석을 토대로 주목해야 할 4가지 핵심 트렌드 선정 및 정리



01 마르는 강, 비어가는 곳간

WMO, State of Global Water Resources 2025 등

- `25년 전 세계 하천 유량은 **최근 35년 중 최저** 수준이며, **유역 면적의 36%가 평년 이하** 기록
- 육지 저류량 평년 이하 지역이 42%, 빙하 누적 감소량('23~'25년)이 1,400Gt로 물 저장량 감소
- `26년 4분기에는 **초강력 엘니뇨 발생** 확률이 95%로 **향후 식량 가격 상승 우려**(OECD)

02 성장률은 유지, 커지는 성장 편중

IMF, World Economic Outlook 등

- `26년 세계 성장률 3.1%로 4월 전망 유지, **전체 성장의 95%를 32개국이 차지**하며 편중 심화
- 한국은 반도체 호조로 성장률 `26년 3.7%로 상향(OECD), 반면 신흥·개도국은 4.5%('25년)→3.7%('26년)로 둔화(IMF)
- IMF는 **에너지 수입국이면서 AI 등의 기술 공급망 밖에 있는 국가를 취약**한 그룹으로 지목

03 AI로 몰리는 돈, 불확실한 성과

WIPO, Global Innovation Index 2026 등

- **전 세계 벤처투자 중 AI 비중이** `25년 53%에서 **`26년 상반기에 77%로 확대**되며 쏠림 가속화
- 세계 상품교역 증가분 47%가 AI 관련 품목, 교역 비중도 7~8%('16~'23년)→14.8%('26년上) 상승
- 그러나 AI 활용시 숙련개발자 작업속도 19% 저하 등 **생산성 우려로 투자 위축**시 **세계GDP 0.4% 감소 전망**

04 에너지 체력이 막아낸 충격

OECD, IMF World Economic Outlook 등

- 원유 공급 차질에도 **공급망 우회, 석유 의존도 하락**으로 **성장률 하락 충격을 0.9%p→0.3%p로 축소**(IMF)
- 최근 20년간 GDP 단위당 에너지 사용량 32% 감소, **`10년 이후 전력 생산 증가분 60%를 재생E로 충당**
- 다만 원유 재고는 2월 대비 5억 7백만 배럴(6%) 감소, 유럽 가스 저장률 15년 만에 최저로 비축량 저하(OECD)

※ **[자료원]** State of Global Water Resources 2025(WMO) / World Economic Outlook(IMF) / OECD Economic Outlook, Interim Report(OECD) / Global Trade Outlook and Statistics(WTO) / Global Innovation Index 2026(WIPO)

Trend Keyword

AI 토큰 이코노미

- **(의미) AI 서비스**의 소비량과 원가가 **토큰(Token)으로 계량되는 경제구조**

> *토큰(Token)이란? 생성형 AI가 텍스트를 이해하고 생성하기 위해 사용하는 최소 단위의 데이터

- **(등장)** 생성형 AI가 추론형 AI로 발전하면서 **AI가 처리해야 하는 토큰의 양도 빠르게 증가**. 이에 효율적으로 **토큰을 처리하는 능력이 중요 경쟁력으로 부상**
- **(대응)** 크게 두 가지 방식으로 접근

토큰 맥싱 (Token Maxxing)	AI가 더 많은 토큰을 활용해 풍부한 답변과 높은 추론 성능 구현
토큰 미니마이징 (Token Minimizing)	더 적은 비용으로 동일 결과를 구현해 비용·처리시간 감축

- **(과제)** AI 모델 개발 경쟁을 넘어 더 많은 토큰 생산을 위한 인프라 경쟁, 달러당 토큰 생산성 경쟁 치열

자료원 : SK ecoplant 뉴스룸('26.7) / NIA, 이슈리포트('26.7)

멀티모달 AI(Multimodal AI)

- **(의미)** 텍스트·이미지·음성 등 **다양한 유형의 데이터를 동시에 인식**하고, **통합적으로 이해·처리하는 AI 기술**
- **(등장)** 텍스트 기반 단일모달 AI가 현실세계의 복잡성과 감정적 맥락을 해석하지 못하는 한계에 대한 대안
- **(작동방식)** 서로 다른 형태의 데이터를 AI가 분석할 수 있는 정보로 변환하고, 이들 간의 **관계와 맥락을 통합적으로 학습·추론하여 결과를 생성**
- **(활용) 종합 의료 진단 및 자율주행차 산업 등**으로 확장

의료진단	의료 사진, 환자 기록, 의사-환자 간 대화녹음 등을 분석하여 종합진단 정보 제공
자율주행	카메라 영상, GPS, 다양한 센서 데이터 등을 결합해 도로상황을 인식하고, 돌발상황에 반응

- **(전망)** 글로벌 시장 규모가 '26년 31.4억 달러에서 '36년 747.5억 달러(CAGR 37.3% 수준)로 성장 예상

자료원 : Research Nester, Multimodal AI 시장분석보고서('26.8)

버티컬 AI(Vertical AI)

- **(의미)** 특정 산업, 전문 분야, 또는 구체적인 업무 환경을 반영하여 설계된 **도메인 특화 인공지능**
- **(특징)** 범용 AI(Horizontal AI)와의 비교

구분	범용 AI	버티컬 AI
적용범위	다양한 주제, 일반업무	특정산업(의료·금융 등)
학습정보	광범위한 공개데이터	전문데이터, 내부문서, 업무규칙 등
장점	폭넓은 질문에 빠르게 대응	전문용어 이해, 특정업무 정확성 향상

- **(필요성)** 범용 AI는 전문용어나 엄격한 규제가 있는 특정 분야에서는 환각현상* 등 부정확한 정보 제공 우려

> * Hallucination : AI가 사실이 아니거나 조작된 내용을 마치 사실인 것처럼 답변하는 현상

- **(최근 동향)** ① **멀티모달 AI와 결합**하여 각 산업의 복잡한 문제해결 및 의사결정 지원 도구화 추세

  ② 특정 산업이나 도메인에 특화된 여러 개의 지능형 에이전트들이 협업해 비즈니스 시스템을 자동화하는 **멀티 에이전트 시스템으로 진화**

자료원 : 삼성 SDS, 인사이트 리포트('25.7) 외

AI 팩토리(AI Factory)

- **(의미) AI 학습·추론을 위해** GPU, 네트워크, 저장장치 및 소프트웨어를 **통합 구축한 대규모 컴퓨팅 인프라**

> * 데이터를 입력받아 AI 모델과 서비스를 지속적으로 생산한다는 점에서 기존 제조공장(factory)에 비유됨

- **(등장)** AI 활용 고도화로 **대규모 학습·추론 수요가 급증**하며, 기존 데이터센터는 물리적·구조적 한계. **고성능·고효율·고밀도 인프라 갖춘 지능형 공장으로 전환**
- **(특징)** 과거 데이터센터가 데이터를 저장하는 '창고'였다면, **AI팩토리는 토큰을 대량생산하는 '공장'**

분 야	데이터센터	AI팩토리
목 적	데이터저장·처리	AI모델 학습 추론을 통한 토큰 및 AI 연산력 생산
핵심자원	CPU 중심 범용서버	GPU·NPU 등 AI 가속기, AI 소프트웨어
평가기준	서버 규모	투입 에너지 대비 AI 생산량

- **(과제)** AI 연산 수요 증가에 따른 전력 확보와 고밀도 서버의 발열 관리가 중요해지면서, **고효율 냉각기술과 전력·냉각·연산자원의 통합 최적화 필요성 증대**

자료원 : NVIDIA, Building AI Factories for the Enterprise('26) 외

WATER & TECH
INSIGHT

DEEP DIVE

- 경쟁이 성과목표를 높이고, 혁신이 도전을 뒷받침한다
- 자연어처리를 이용한 수자원 분야 연구 트렌드 분석

Deep Dive ①

경쟁이 성과목표를 높이고, 혁신이 도전을 뒷받침한다

K-water연구원 경영연구소 유문현 소장, 최한주 팀장, 오슬기 선임

■ 시장경쟁이 치열할수록 기업은 왜 더 높은 성과목표를 설정하는지에 답하기 위해 미국 기업의 실증자료를 통해 경쟁압력이 내부 성과목표에 미치는 영향을 분석

■ 기업의 혁신역량은 도전적 성과목표 설정을 뒷받침하는 중요한 요인으로, 경영자 능력과 산업특성, 경쟁기업의 혁신 수준에 따라 그 효과가 달라짐을 확인

01 '경쟁'이라는 이름의 채찍

□ **(경쟁의 규율 효과) 시장경쟁은 경영자의 행동과 성과관리체계에 미치는 외부 압력**

◦ 기존 연구는 시장경쟁이 기업의 수익률과 성장률 등 경영성과에 미치는 영향과 경영자의 행동을 규율하는 역할에 주목

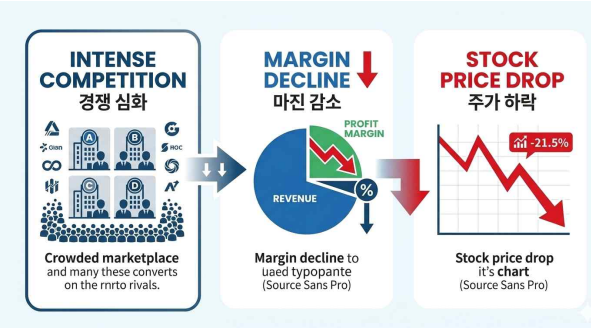
◦ 특히, 경쟁에 따른 수익성 악화와 시장점유율 하락 위험은 경영자의 안주와 비효율적 자원활용(Slack)을 억제하고, 효율적 자원배분을 유도하는 외부 규율기제로 작용할 수 있음

□ **(연구의 초점) 경쟁압력이 내부 성과목표의 난이도로 전환되는 과정과 혁신의 역할 규명**

◦ 기존 연구는 시장경쟁이 경영성과와 경영자 행동에 미치는 영향에 주목해 왔으나, 경쟁압력이 기업 내부의 성과목표 설정에 미치는 영향에 대한 실증분석은 부족

◦ 이에 본 연구는 경쟁 심화가 도전적 성과목표 설정에 미치는 영향과 혁신역량의 조절효과를 검증하고, 외부 경쟁압력을 조직 내부 성과 기대수준으로 전환시키는 요인인 성과목표를 '전략적 사전 확약(Strategic Commitment)' 수단으로 재조명하고자 함

【 경쟁의 사후적 영향 】



【 경쟁의 사전적 영향 】



【 연구모형 】



* (분석방법) `15~`20년 S&P 1500 기업(금융업 제외) 중 511개 기업-연도 관측치를 활용하여 시장경쟁과 EPS(Earnings Per Share) 성과목표 난이도의 관계 및 혁신역량의 조절효과 분석

02 레드오션의 역설 : 격화되는 경쟁이 만드는 '높은 과녁'

□ **(레드오션의 역설)** 시장경쟁이 치열할수록 기업은 더욱 도전적인 성과목표를 설정하는 경향

◦ **경쟁 심화**는 수익성 악화와 경영 불확실성을 높일 수 있지만, 동시에 경영자의 노력과 전략적 대응을 촉진하기 위해 **내부 성과 기대수준을 높이는 유인으로 작용**

◦ 기업은 경쟁환경 변화에 대응하여 과거 실적과 동종기업의 성과를 기준으로 목표를 재조정하며, 이를 통해 경영자에게 더욱 높은 성과 달성을 요구

□ **(실증분석 결과) 시장경쟁과 성과목표 난이도 사이에 통계적으로 유의한 정(+)의 관계 확인**

◦ 시장경쟁이 치열한 기업일수록 과거 3개년 평균 실적(*DIFF_PAST*) 및 전년도 동종기업 평균 실적(*DIFF_PEER*) 대비 더욱 높은 EPS 성과목표를 설정

◦ 이는 **시장경쟁이** 경영자의 사후 성과에 영향을 미치는데 그치지 않고, **기업이 사전에 설정하는 성과목표와 경영관리체계에도 영향을 미칠 수 있음을 시사**

【 과거 실적 대비 목표 난이도, *DIFF_PAST* 모형 】



【 동종기업 실적 대비 목표 난이도, *DIFF_PEER* 모형 】



※ ***는 통계적 유의수준 1%를 의미

* (*DIFF_PAST*) (당해 목표 EPS - 과거 3개년 평균 EPS) ÷ 과거 3개년 평균 EPS
* (*DIFF_PEER*) (당해 목표 EPS - 전년도 동종기업 평균 EPS) ÷ 전년도 동종기업 평균 EPS

⇨ 시장경쟁은 경영성과(수익률, 성장률 등)에 영향을 미치는 기업 외부 압력에 머무르지 않고, 내부의 성과 기대수준을 높이는 경영관리 요인으로 작용

03 혁신기업의 경쟁력 : 높아지는 과녁을 향한 더 큰 도전

□ **(혁신의 역할) 혁신역량은** 경쟁압력에 대응하여 **도전적인 성과목표를 설정할 수 있는 기반**

◦ 기술혁신은 제품 차별화와 생산성 개선을 통해 새로운 성장 기회를 확보하고, 기업의 미래 성과 창출 가능성을 확대함

◦ 따라서 혁신역량이 높은 기업은 경쟁이 심화되더라도 높은 목표를 달성할 수 있다는 기대를 바탕으로 더욱 도전적인 성과목표를 설정할 가능성이 커짐

□ **(실증분석 결과)** 자사 **혁신역량이 높을수록 시장경쟁과 성과목표 난이도 간 정(+)의 관계 강화**

◦ 혁신역량을 특허 수(혁신의 양)와 후속 인용 수(기술적 영향력)로 측정한 결과, 두 지표 모두 시장경쟁과 성과목표 난이도 간 정(+)의 관계를 유의하게 강화

◦ 이러한 결과는 **혁신이** 기술개발의 성과를 넘어, **경쟁환경에 대응하는 기업의 성과목표 설정과 경영관리 의사결정에도 영향을 미치는 중요한 자산임을 시사**

	【 *DIFF_PAST* 모형 】	【 *DIFF_PEER* 모형 】
특허 수 (혁신의 양)		
인용건수 (혁신의 질)		

※ ***는 통계적 유의수준 1%를 의미

⇨ 혁신역량이 높은 기업일수록 경쟁압력에 대응하여 더욱 높은 도전적인 성과 목표를 설정하는 경향 뚜렷

- 즉, 격화되는 레드오션 속에서도 혁신역량이 내재화된 기업은 스스로 '허들'을 높여 치열한 경쟁 압력을 '위기'가 아닌 '도약'의 발판으로 활용할 가능성이 높음

⇨ 따라서 혁신의 가치는 기술개발 성과 자체뿐만 아니라, 이를 바탕으로 기업이 얼마나 높은 성과를 지향할 수 있는지의 관점에서도 이해할 필요성 존재

04 높아진 과녁을 맞추는 화살의 요건

□ **(제1발, 시위를 당기는 조준력) 혁신을 전략 실행으로 치환하는 '경영자의 능력'**

◦ 경영자 능력*에 따라 혁신역량이 성과목표 설정에 미치는 영향이 달라지는지 분석한 결과, 경영자 능력이 높은 기업에서는 혁신역량이 시장경쟁과 목표 난이도 간 정(+)의 관계를 강화

* 경영자 능력 점수(Demerjian et al., 2012) : 경영자가 기업이 보유한 자원을 활용하여 얼마나 효율적으로 매출을 창출하는지를 평가한 지표

◦ 반면, 경영자 능력이 낮은 기업에서는 혁신역량의 조절효과가 음(-)의 방향으로 나타나, **기술혁신의 효과가 경영자의 역량에 따라 다르게 나타날 수 있음을 확인**

	【 *DIFF_PAST* 모형 】		【 *DIFF_PEER* 모형 】	
	낮은 경영진 역량	높은 경영진 역량	낮은 경영진 역량	높은 경영진 역량
특허 수 (혁신의 양)				
인용건수 (혁신의 질)				

◦ 이는 단순히 혁신역량을 확보하는 것뿐 아니라, 이를 조직의 전략적 판단과 목표 설정에 연결하는 경영자 능력이 중요함을 시사

□ **(제2발, 날카로운 화살촉)** 기술혁신의 가치가 두드러지는 **'첨단산업'의 특성**

◦ 컴퓨터, 생명공학, 전자 등 첨단기술 산업에서는 혁신역량이 시장경쟁과 성과목표 난이도 간 정(+)의 관계를 강화하는 것으로 분석됨

◦ 반면, 비첨단산업에서는 혁신의 조절효과가 음(-)의 방향으로 나타나, 기술혁신이 성과목표 설정에 미치는 영향이 산업특성에 따라 달라짐을 확인

	【 *DIFF_PAST* 모형 】		【 *DIFF_PEER* 모형 】	
	비첨단기술 산업	첨단기술 산업	비첨단기술 산업	첨단기술 산업
특허 수 (혁신의 양)				
인용건수 (혁신의 질)				

◦ 이는 **기술혁신이 핵심 경쟁자산인 산업일수록 보유한 혁신역량을 도전적인 성과목표와 연계하는 경향이 강함**을 시사

□ **(제3발, 張力에 따른 사거리)** 자사의 목표 설정에 영향을 미치는 **'경쟁기업의 혁신역량'**

◦ 동종기업의 특허 수와 후속 인용 수가 많을수록 시장경쟁과 자사 성과목표 난이도 간 정(+)의 관계가 '약화'되는 경향이 확인됨

◦ 시장경쟁과 동종기업 혁신역량의 상호작용항은 과거 실적대비(*DIFF_PAST*) 및 동종기업 대비(*DIFF_PEER*) 모형에서 모두 음(-)의 계수를 보임

* *DIFF_PAST* 모형에서는 1%의 통계적 유의수준, *DIFF_PEER* 모형에서는 10%의 통계적 유의수준

	【 *DIFF_PAST* 모형 】	【 *DIFF_PEER* 모형 】
특허 수 (혁신의 양)		

◦ 이는 **경쟁기업의 혁신 수준이 자사의 목표 달성 가능성에 대한 판단에 영향**을 미칠 수 있으며, 성과목표 설정 시 자체 혁신역량과 경쟁기업의 기술 수준을 함께 고려할 필요가 있음을 시사

⇨ 혁신역량이 성과목표 설정에 미치는 효과는 모든 기업에서 동일하지 않으며, 경영자 능력과 산업 특성, 경쟁기업의 혁신 수준에 따라 차별화될 수 있음

05 높아지는 과녁, 혁신을 성과로 연결하는 경영의 조건

□ **(성과관리의 전환)** 시장경쟁을 조직의 성과 기대수준과 경영목표를 재설정하는 계기로 활용

◦ **본 연구는 시장경쟁이** 경영자의 행동과 사후 성과뿐 아니라, **기업이 사전에 설정하는 성과목표의 난이도에도 영향을 미친다는 점을 실증적으로 제시**

◦ 따라서, 성과목표를 단순히 과거 실적을 평가하는 사후적 기준이 아닌, 외부 경쟁환경을 반영하여 조직의 성과 기대수준과 전략적 대응 방향을 설정하는 사전적 경영관리 수단으로 이해할 필요가 있음

□ (**혁신역량의 전략화**) 기술혁신을 도전적인 성과목표 설정과 연계하는 경영관리 체계 강화

◦ 혁신역량이 높은 기업일수록 경쟁 심화에 대응하여 더욱 도전적인 성과목표를 설정하는 경향이 나타나, **기술혁신이 기업 성과관리체계에도 영향을 미치는 자산임을 확인**

◦ 특히 혁신의 효과는 경영자의 능력과 산업 특성에 따라 달라지고, 경쟁기업의 혁신수준에 의해서도 영향을 받으므로, 자체 기술력과 경영역량, 경쟁환경을 종합적으로 고려한 목표 설정이 중요

□ (**경영관리 시사점**) 도전성과 실현 가능성을 함께 고려하는 성과목표 설계 필요

◦ 경쟁압력에 따른 성과목표 상향이 반드시 실제 성과 향상을 의미하는 것은 아니므로, 조직의 혁신역량과 실행능력을 고려하여 도전적이면서 달성가능한 목표를 설정할 필요

◦ 나아가 **기술혁신의 성과를 단순한 연구개발 실적에 국한하지 않고, 조직의 전략적 대응 역량과 미래 성과 창출 가능성을 높이는 '경영자산'으로 인식할 필요**가 있음

※ 본 원고는 K-water 오슬기 선임연구원이 국제학술지 *International Review of Economics and Finance*에 게재('26.10)한 「Product market competition and target difficulty: The role of innovation」의 내용을 기초로 작성함

※ 참고자료 1) Oh, S. (2026). Product market competition and target difficulty: The role of Innovation. *International Review of Economics and Finance, 112,* 105958.
2) Schmidt, K. M. (1997). Managerial incentives and product market competition. *International The Review of Economic Studies, 64(2),* 191-213.
3) Kim, S., Matějka, M., & Park, J. (2023). Economic determinants and consequences of performance target difficulty. *The Accounting Review, 98(2)*, 361-387.
4) Demerjian, P., Lev, B., & McVay, S. (2012). Quantifying managerial ability: A new measure and validity tests. *Management Science, 58(7)*, 1229-1248.
5) Nonaka, I., & Takeuchi, H. (1995). The knowledge-creating company: How Japanese companies create the dynamics of innovation. *Oxford University Press.*

Deep Dive ②

자연어처리를 이용한 수자원 분야 연구 트렌드 분석

K-water연구원 AI연구소 김성훈 소장, 이소령 대리, 김재영 선임

■ 기후변화, 수질오염 등 물관리 환경 변화에 따라 수자원 분야의 연구주제가 다양해지면서, 대규모 학술논문을 활용한 체계적인 연구동향 분석의 필요성 증대

■ 자연어처리 기반으로 2000~2025년 수자원 분야 12개 학술지의 논문 91,125편을 분석하여, 새롭게 부상하는 연구주제와 시기별 주요 연구 흐름의 변화를 도출

01 자연어처리 기반 연구 트렌드 분석 배경

□ **(연구환경의 변화)** 기후·수문 변화, 수질오염 문제, 관측·분석 기술 발전 등에 따라 **수자원 분야 연구주제가 지속적으로 변화**함에 따라 **연구동향을 체계적으로 분석할 필요성 증대**

◦ 이러한 연구 동향 변화에 대한 분석은 서지계량분석* 중심으로 수행되어 왔으나, 단순 빈도 분석만으로는 논문량 증가에 따른 영향과 연구주제 간 연관성을 파악하는데 한계

* 서지계량분석(Bibliometric Analysis) : 논문 수, 인용 정보, 키워드 빈도 등 학술문헌의 정보를 정량적으로 분석하여 연구 분야의 규모와 연구동향을 파악하는 방법

□ **(분석 고도화 필요)** 단어별 출현 비중에 대한 통계적 추세검정과 동시출현 네트워크 분석을 결합하여, 연구주제의 시기별 변화 추세와 주제 간 연관성을 함께 고려하는 종합적 분석 필요

□ **(AI 분석 기술 발전)** 최근에는 OpenAlex* 등 공개 학술 메타데이터 플랫폼을 통해 대규모 논문 수집이 가능해지면서 **방대한 연구정보를 분석하기 위한 AI 기술의 활용성 증대**

◦ AI 자연어처리 기반 기술을 통해 방대한 연구정보 속에서 주요 데이터를 추출·정규화하고 그 특성을 분석하는 접근이 가능

* OpenAlex: 전 세계 학술논문, 연구자, 연구기관 등의 정보를 제공하는 개방형 학술정보 플랫폼

□ **(전략적 R&D 활용)** 연구 트렌드의 시기별 변화와 새롭게 부상하는 연구영역을 파악하여 **미래 연구개발 방향 설정을 위한 객관적 근거 확보**

◦ 분석 결과를 활용한 유망 연구분야 탐색과 중장기 R&D 전략수립, 신규 연구과제 기획 지원

⇨ 자연어처리 기반 분석을 통해 과거 26년간(2000~2025년) 물 분야의 주요 연구 트렌드와 시기별 변화, 새롭게 떠오르는 연구주제를 도출하기 위한 연구 진행

02 연구 트렌드 탐색 과정

□ **(분석대상)** OpenAlex에서 물 분야 12개의 학술지를 2000년부터 2025년까지 논문 94,445편을 수집하고, 논평·답글 등 연구논문이 아닌 문헌을 제외한 91,125편 분석

◦ 전체 기간을 동일한 기준으로 비교하기 위해 결측이 없는 데이터인 '논문 제목'에서 단어를 추출하고, 복수형·줄임말 등 동일한 의미의 단어들은 하나로 통일하는 등 정규화 진행

□ **(Rising 단어 선정)** 연도별 전체 논문 중 특정 단어가 제목에 등장하는 비율(상대빈도)을 산출하고, 26년 동안 해당 비율이 **통계적으로 유의하게 증가하는 단어를 'Rising 단어'로 선정**

◦ Mann-Kendall 검정으로 시간에 따른 단어별 증가 추세의 통계적 유의성을 평가하고, Benjamini-Hochberg 보정을 적용하여 다중검정에 따른 우연한 유의 판정 가능성을 완화

* 'Rising 단어'는 분석기간 동안 상대적 출현 비중이 증가한 단어를 의미하며, 향후 연구 성장 가능성이나 기술적 유망성을 직접 평가한 결과는 아님

□ **(연구 트렌드 도출)** Rising 단어의 논문 내 동시출현 관계를 분석하고, 연관성이 높은 단어들은 그룹화하여 **'주요 연구 트렌드' 도출**

◦ 2편 이상 논문 제목에 함께 등장한 단어들을 연결하여 동시출현 네트워크*를 구축하고, 단어별 출현빈도를 고려하여 연결 강도 보정

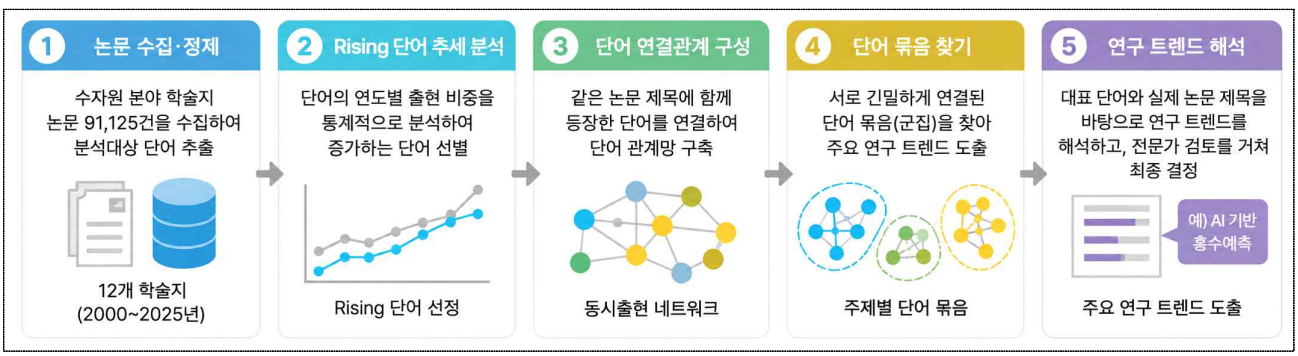
* 동시출현 네트워크 : 함께 자주 쓰이는 단어일수록 강하게 연결되도록 만드는 단어 관계망으로, 자주 등장하는 단어가 관계망 전체를 좌우하지 않도록 단어별 등장 빈도를 고려하여 연결 강도를 보정

◦ Louvain 알고리즘*을 적용하여 연결관계가 밀접한 단어들을 그룹화하고 주요 연구 영역을 구분

* Louvain : 네트워크에서 내부 연결은 촘촘하고 외부 연결은 느슨한 집단을 자동으로 찾아내는 방법

◦ 그룹별 대표 단어와 관련 논문을 바탕으로 생성형 AI가 연구 트렌드 초안을 작성하고, 물 분야 전문가 검토를 통해 최종 확정

□ **(시기별 연구 트렌드 변화)** 2000~2025년을 5개의 구간으로 나누어 각 시기별 연구 트렌드를 도출하고 **시간에 따른 연구 관심의 변화를 분석**



03 26년간의 물 분야 연구 트렌드 분석 결과

□ (**주요 연구분야**) 분석 결과, 총 1,080개 단어가 통계적으로 유의한 증가 추세가 확인되어 'Rising 단어'가 되었으며, 단어 간 연결 관계 분석을 통해 8개 그룹으로 구분

◦ 수처리·오염물질 제어, 지하수·물순환, AI·데이터 기반 수문예측과 수자원 운영, 도시·통합 물관리 등 4개 그룹에 대부분의 단어가 집중

◦ 나머지 4개 그룹은 다공질매체·지중저장, 연안 해안침투, 건물 급수설비, 이화적 질산염 환원 등은 상대적으로 소규모이거나 복합적인 단어들로 구성

【 2000~2025년 물 분야 주요 연구주제 】

구분	Rising 연구분야 후보	단어수	대표적인 Rising 단어(예시)
C0	수처리공정 및 수질 오염물질 제어	317	PFAS, 항생제, 분리막, 미생물, 자원회수, 소독, 미세플라스틱
C1	지하수·물순환 변화와 영향 요인	291	저류량, 증발산, 식생, 카르스트, 인위적 영향, 온난화, 몬순, 영구동토
C2	AI·데이터 기반 수문예측과 수자원 운영	278	홍수, 강수, 저수지, 하천유량, 가뭄, 예측·예보, 최적화, 기계학습, 딥러닝, 원격탐사
C3	도시·통합 물관리와 인프라·거버넌스	133	도시, 물공급, 우수관리, 하수관로, 인프라, 회복탄력성, 물부족, 거버넌스, 형평성
C4	다공질매체 유동·지중저장과 관망 누수 센싱	39	이산화탄소, 투수계수, 지중 격리·저장, 센서, 누수, 음향, 벨브, 관 파열
C5	연안 해수침투와 해수면 상승	16	연안, 해수, 침투, 해수면, 조위, 맹그로브
C6	건물 내 급수설비 수질	4	고온(온수), 급수배관, 건물 내
C7	이화적 질산염 환원(DNRA)	2	이화적(Dissimilatory), DNRA(Dissimilatory Nitrate Reduction to Ammonium)
계		1,080	

※ 대표 단어는 영문 단어를 한국어로 번역함

□ (**연구분야별 특징**) 그룹별 대표 단어와 동시출현 관계를 바탕으로 연구분야별 특징 해석

C0. 수처리공정 및 수질오염 물질 제어	‣ 하·폐수처리, 분리막, 소독 등 수처리 공정과 함께 미세플라스틱, 항생제 등 신규 오염물질 처리기술 관련 단어가 함께 나타남
C1. 지하수·물순환 변화와 영향 요인	‣ 지하수, 식생 등 물순환 관련 단어와 온난화, 몬순 등 환경변화 관련 단어 등장. 양쯔강·황토고원 등 특정 지역 관련 단어도 나타남
C2. AI·데이터 기반 수문 예측과 수자원 운영	‣ 홍수, 강수, 가뭄 등 수문·수자원 관련 단어와 예측 최적화, 기계학습, 딥러닝 등 AI 분석 기법 관련 단어가 함께 증가
C3. 도시·통합 물관리와 인프라·거버넌스	‣ 물공급, 도시, 우수관리 등 도시 물관리 관련 단어와 회복탄력성, 거버넌스 등 사회·제도적 개념의 단어가 폭넓게 나타남
C4~C7. 기타	‣ C4는 CO_2 지중 저장 등 다공질매체 유동과 관망 누수탐지라는 서로 다른 개념이 혼재하여 나타났으며, C5는 연안 해수침투·해수면 상승, C6~C7은 독립된 주제로 선정

04 시기별 연구 트렌드 변화

□ (**시기별 트렌드**) 2000~2025년을 5개 구간으로 구분하여 각 시기별 주요 연구주제를 도출

【 구간별 연구 트렌드 그룹 】

1구간 (2000~2005)	0. 유역 수문 공간 변동성·영향평가(190)	1. 다공질매체 유동 실험·수치해석(122)	2. 통합 물관리·저수지 운영 최적화(79)
	catchment, data, surface, stream, hydrological, dynamics, spatial, watershed, impact, assessment, use, hydrologic, variability, response, prediction	effect, approach, hydraulic, field, heterogeneous, experiment, experimental, time, properties, zone, stochastic, tracer, scale, fractured, estimating	river, study, control, area, management, design, reservoir, urban, case, optimal, optimization, resources, integrated, south, review
	3. 신경망 기반 홍수 모델링(78)	4. 수치해석 방법론 (유한요소 등)(58)	5. 수처리공정·흡착(57)
	model, estimation, flood, parameters, neural, uncertainty, artificial, high, rainfall-runoff, sensitivity, erosion, frequency, calibration, information, continuous	flow, analysis, method, application, simulation, numerical, equation, element, channel, transient, coupled, finite, nonlinear, problems, inverse	carbon, acid, microbial, adsorption, plant, iron, biofilm, membrane, heavy, batch, ozonation, disinfection, presence, ozone, granular
	6. 구조공학적 성능평가(57)	7. 동위원소 기반 수문경로 추적(24)	8. 지하수·연안대수층 염수화(24)
	evaluation, performance, behavior, concrete, theory, ground, considering, bridge, strength, shear, composite, hybrid, type, material, local	isotope, mixing, stable, complex, vertical, mountainous, landscape, pathways, profiles, isotopes, times, paths, hydrochemical, understanding, identifying	groundwater, analytical, coastal, level, recharge, estuary, table, pumping, sea, towards, korea, fluctuations, tidal, salinity, salt
	9. 대장균 검출(4)		
	recovery, determining, coli, escherichia		
2구간 (2006~2010)	0. 수문모델링·불확실성(145)	1. 하·폐수처리, 먹는물(136)	2. 기후변화·유역영향(117)
	model, method, approach, hydrological, estimation, rainfall, watershed, flood, network, hydrologic, uncertainty, precipitation, streamflow, reservoir, prediction	effect, wastewater, organic, sludge, performance, concentration, natural, different, membrane, potential, drinking, microbial, oxidation, formation, investigation	river, basin, impact, surface, climate, spatial, change, use, case, variability, china, land, response, discharge, lake
	3. 토양수분·불포화대 흐름(94)	4. 수질평가·통합 물관리(92)	5. 증발산·동위원소 추적(46)
	flow, soil, data, dynamics, hydraulic, condition, field, control, moisture, scale, temperature, tracer, monitoring, characterization, shallow	water, assessment, quality, area, urban, source, integrated, agricultural, environmental, coastal, waters, risk, identification, review, supply	forest, snow, evapotranspiration, role, evaporation, cover, remote, sensing, stable, isotope, mapping, gis, isotopes, reference, determining
	6. 체류시간 분석(13)		
	time, series, mean, assess, residence, long, travel, times, term, transit, short, contrasting, correction		
3구간 (2011~2015)	0. 하·폐수처리(185)	1. 도시 물시스템·통합관리(154)	2. 홍수·가뭄 앙상블 예측(143)
	wastewater, removal, organic, sludge, performance, carbon, process, natural, microbial, membrane, concentration, activated, anaerobic, matter, degradation	analysis, system, distribution, dynamics, management, urban, reservoir, control, design, resources, optimization, integrated, implications, risk, framework	method, approach, flood, application, network, streamflow, prediction, comparison, drought, forecasting, ensemble, two, multiple, forecast, index
	3. 강수·기후관측 변화(141)	4. 지하수·다공질매체 반응수송(115)	5. 기저유출 분리(23)
	rainfall, precipitation, stream, changes, temperature, field, discharge, different, temporal, lake, events, level, high, observations, future	groundwater, aquifer, condition, porous, numerical, interactions, solute, investigation, well, karst, evolution, co, reactive, predicting, laboratory	channel, times, baseflow, separation, public, long, recession, residence, transit, base, images, term, digital, mode, facilities
	6. 관개작물·구조재료(20)	7. 사면수문 지표(19)	8. 유전자발현(4)
	concrete, crop, stress, structural, irrigated, uptake, root, strength, shear, ratio, process-based, steel, failure, reinforced, connection	indicators, depth, critical, slope, recent, challenges, tracking, steep, persistence, hillslopes, advances, perspectives, cross, two-stage, markers	caused, increased, expression, gene

【 구간별 연구 트렌드 그룹 】

4구간 (2016~2020	0. 기후·유역 수문변동(266)	1. 하·폐수처리 메커니즘(210)	2. 저수지 운영·홍수예보(161)
	river, impact, soil, climate, hydrological, assessment, china, surface, streamflow, sediment, runoff, moisture, variability, region, area	organic, removal, performance, sludge, process, carbon, mechanisms, potential, microbial, dissolved, role, matter, formation, natural, activated	water, approach, flood, distribution, network, reservoir, quality, operation, drinking, environmental, level, novel, daily, forecast, improved
	3. 다공질매체 흐름 결합 모의(139)	4. 지하수·질산염 오염원 추적(78)	5. 리뷰·전망(잡음성)(23)
	flow, effect, dynamics, simulation, condition, media, porous, experimental, experiment, coupled, investigation, drainage, behavior, co, transfer	groundwater, source, coastal, interactions, sources, nitrate, karst, tracer, complex, combined, mixing, isotopes, well, isotope, isotopic	review, critical, occurrence, research, challenges, irrigated, applicability, practical, agriculture, opportunities, engineering, perspectives, maps, advances, aromatic
	6. 유해 남조류 대발생(19)		
	factors, loading, biomass, algal, influencing, effectiveness, key, internal, eutrophic, cyanobacteria, driving, phytoplankton, cyanobacterial, blooms, improves		
5구간 (2021~2025)	0. 유역 수문변동· 가뭄(349)	1. 하·폐수처리, 자원회수(271)	2. AI·데이터기반 홍수예측·도시물관리(221)
	river, impact, soil, china, dynamics, study, surface, sediment, drought, rainfall, runoff, processes, characteristics, lake, region	wastewater, mechanisms, treatment, removal, performance, carbon, enhanced, nitrogen, membrane, role, degradation, production, recovery, efficient, oxidation	system, flood, learning, urban, prediction, framework, machine, control, deep, risk, quality, novel, environmental, integrated, coupled
	3. 미세플라스틱, 먹는물, 유기물(74)	4. 다공질매체 지중저장·가스(60)	5. 항생제 내성유전자·미생물군집(53)
	organic, insights, dissolved, matter, microplastics, drinking, environment, transformation, aquatic, disinfection, isotope, molecular, composition, fate, cycling	porous, plant, heterogeneous, co, emissions, induced, gas, seawater, methane, extraction, oxide, pore-scale, geological, phase, electrical	microbial, resistance, structure, community, antibiotic, genes, bacterial, communities, regulation, stability, functional, metabolic, diversity, deciphering, assembly
	6. PFAS(35)	7. 희토류·중금속(소규모)(9)	8. 남수북조 유역간 물이동(5)
	substances, pfas, extracellular, ammonium, enrichment, per, structural, polyfluoroalkyl, mining, polymeric, microalgae, stratified, dewatering, hydrogeochemical, protein	mixed, element, earth, metals, toxic, rare, potentially, throughfall, stemflow	diversion, projects, inter-basin, south-to-north, route
	9. 에디공분산 관측(4)	10. 소프트컴퓨팅(3)	11. (라벨 어려움)(2)
	concurrent, eddy, covariance, multi-stage	soft, computing, high-performance	abrupt, alternation

◦ 연구 내용의 유사성과 연속성을 검토하여 3개의 주요 연구 흐름으로 정리·변화 분석

① 홍수예측·수문모델링 ② 수질·수처리 ③ 유역수문·기후변화 및 가뭄

【 주요 연구 흐름의 시기별 변화 】

주요 연구 흐름	1구간 (2000~2005)	2구간 (2006~2010)	3구간 (2011~2015)	4구간 (2016~2020)	5구간 (2021~2025)
① 홍수 예측·수문 모델링	신경망 기반 홍수 모델링 (4위, 11.3%)	수문모델링·불확실성 (1위, 22.6%)	홍수가뭄 앙상블 예측 (3위, 17.8%)	저수지 운영·홍수예보 (3위, 18.0%)	AI·데이터 기반 홍수예측·도시물관리 (3위, 20.3%)
② 수질·수처리	수처리공정·흡착 (6위, 8.2%)	하·폐수처리, 먹는물 (2위, 21.2%)	하·폐수처리 (1위, 23.0%)	하·폐수처리 메커니즘 (2위, 23.4%)	하·폐수처리, 자원회수 (2위, 25.0%)
③ 유역수문·기후변화 및 가뭄	유역 수문 공간변동성 (1위, 27.4%)	기후변화·유역영향 (3위, 18.2%)	강수·기후관측 변화 (4위, 17.5%)	기후·유역 수문변동 (1위, 29.7%)	유역 수문변동·가뭄 (1위, 32.1%)

※ '구간별 연구 트렌드 그룹' 표 중 주요 연구 흐름 3개 요약 표

※ ( ) 안은 구간 내 출현 빈도 순위와 전체 대비 비중을 의미

【 주요 연구 흐름의 시기별 순위 및 비중 변화 】



※ 구간마다 묶음 수가 달라 구간 내 순위를 0~100점으로 환산함. 원 크기는 해당 구간 전체 단어 중 비중

① **(홍수예측·수문모델링) 2000년대 초반** 신경망 기반 홍수모델링에서 수문모델링, 홍수·가뭄 예측, 저수지 운영 등으로 **연구영역이 확대**되었으며, **최근에는 AI·데이터 기반 홍수예측과 도시물관리 연구가 주요 흐름**으로 나타남

* (순위) 4위 → 1위 → 3위 → 3위 → 3위 / (비중) 11.3% → 20.3%로 확대됨

② **(수질·수처리)** 전 기간에 걸쳐 하·폐수처리 관련 연구가 지속되었으며, 최근에는 오염물질의 처리, 제거뿐만 아니라 **유용 자원을 회수·활용하는 방향으로 연구영역 확대**

* (순위) 6위 → 2위 →1위 → 2위 →2위 / (비중) 8.2%에서 25.0%로 크게 확대됨

③ **(유역수문·기후변화 및 가뭄)** 연구관심이 **유역의 수문변동과 영향평가 중심에서 기후변화에 따른 물순환 변화로 확대**되었으며, **최근에는 가뭄 관련 연구**가 두드러짐

* (순위) 1위 → 3위 → 4위 → 1위 → 1위 / (비중) 최근 30% 내외로 3개 주요 연구흐름 중 최대규모

□ **(특화 연구주제)** 여러기간에 걸쳐 지속되는 주요 연구 흐름 외에도 특정 시기의 이슈를 반영한 독립적인 연구주제 그룹도 확인됨

◦ 2021~2025년에는 미세플라스틱, 항생제 내성, PFAS가 각각 별도의 묶음으로 나타나, **수질 연구가 미세오염물질, 먹는물 수질 기준 강화 및 안정성 확보 등으로 세분화**된 것으로 분석됨

◦ 2016~2020년 유해 남조류 대발생, 2021~2025년 남수북조 유역(중국) 간 물 이동 등 특정환경 문제 및 지역 현안과 관련된 연구 주제도 확인

※ 이번 분석은 대규모 학술논문 데이터를 활용하여 물 분야의 주요 연구의 흐름과 시기별 변화를 정량적으로 제시했다는데 그 의의가 있음

- 물 분야 연구는 유역 수문·기후변화 및 가뭄 중심으로 확대되고 있으며, 수질·수처리 분야에서는 연구주제가 세분화되는 경향을 확인

※ 또한, AI 기반 분석 결과가 인간의 통찰을 뒷받침하는 객관적인 근거로 활용될 수 있음을 시사

- 자연어처리 기반 분석 결과는 기존 연구 동향에 대한 전문가의 경험적 판단과도 부합

⇨ 해당 분석 내용은 「Development of a Network-Analysis Pipeline for Identifying Rising Research Topics in Water Resources」라는 제목으로 *MLNLP(Machine Learning and Natural Language Processing) 2026* 학회에 제출됨

05 활용방안 및 향후 계획

□ (**활용 방안**) 대규모 논문 데이터를 활용하여 연구 관심이 높아지는 분야를 파악하고, 신규 연구과제 발굴 및 중장기 연구개발 방향 설정을 위한 기초 자료로 활용 가능

□ (**향후 계획**) 연구 트렌드 탐색부터 관련 논문 확인까지 연계하여, 물 분야 연구 동향 파악과 신규 R&D 주제 발굴에 활용할 수 있는 분석체계로 발전 추진

◦ 현재는 논문 제목 중심으로 분석하였으나, 향후에는 논문 초록 등을 활용하여 세부 연구 개념과 맥락까지 반영 예정

※ 참고자료 1) S. Lee and S. H. Kim, “Inter-Institutional Collaboration Network Analysis Using Open Scholarly Metadata Platform: A Case Study of the Water Sector,” Journal of the Korean Society for Information Management, vol. 42, no. 4, pp. 201–220, 2025.
2) V. D. Blondel, J.-P. Guillaume, R. Lambiotte, and E. Lefebvre, “Fast unfolding of communities in large networks,” Journal of Statistical Mechanics: Theory and Experiment, vol. 2008, no. 10, Art. no. P10008, 2008.

WATER & TECH
INSIGHT

SNAP SHOT

- ‘기후보험’, 재난 피해 보상에서 기후위험 관리로
- 물산업의 미래를 준비하는 국제표준
- AI 이미지 학습을 활용한 수돗물 미세 이물질 분석기술
- 진동으로 댐을 분석하다 – 최신기술로 보는 댐안전 모니터링
- 국제 공동연구를 통한 ‘수소 생산-저장 일체형 시스템’ 개발

Water & AI Special

- 에이전트 시대의 보안, 해킹하는 AI와 검증하는 AI
- 생성형 AI 三國志, 진화와 최신 트렌드

Snap Shot

‘기후보험, 재난 피해 보상에서 기후위험 관리로

K-water연구원 경영연구소

■ 기후재난의 빈도·강도 증가로 경제적 피해와 취약계층의 부담이 확대되면서, 신속한 생활 안정과 기후위험 분산을 위한 기후보험이 새로운 기후적응 수단으로 부상

□ [**기후보험**] 기후변화와 관련하여 발생하는 경제적 손실위험을 이전·분산하는 형태의 보험

◦ **최근에는** 홍수·가뭄·폭염·태풍 등 기후재난에 따른 **재산 피해뿐만 아니라 소득 손실, 생활안정까지 보장범위가 확대**되고, **기후위기 적응과 회복력 강화를 위한 수단으로 활용**

구 분	전통적 재해보험	최근의 기후보험
주요 사례	풍수해 또는 지진 재해보험, 농작물재해보험	폭염·홍수·가뭄 등 기후위험 관련 보험
주요 보장	시설·농작물 등의 실제 재산 피해	재산 피해와 소득 손실, 생활안정 지원 가능
지급 방식	현장조사와 실제 손해액 산정 중심	지수형 방식 등 손해산정 및 지급절차 간소화
정책 목적	재해 피해 보상과 복구	기후위기 적응과 취약계층의 회복력 강화

□ [**운영사례**] 국내 공공 기후보험 도입과 해외 위험관리·분담체계 운영 사례



◦ 최근 **기상·재난데이터의 정밀도 향상과 위험측정 기술 발전**으로 **지수형 보험*** **확대** 중

* 지수형 보험 : 사전에 정한 지표가 기준에 도달하면, 개별 피해조사를 생략하거나 간소화하여 약정 보험금을 지급하는 방식

AXA Climate	위성데이터를 활용한 지수형 가뭄보험 운영
FloodFlash	영·미에서 IoT 센서 기반 건물 침수 깊이가 약정수준 도달시 보험금 지급
EQuick	도쿄해상에서는 일정규모 이상 지진 발생시 손해조사 없이 보험금 지급

➡ 기후보험 확산에 따라 홍수·가뭄 등 기후재난의 위험을 정밀하게 평가할 수 있는 **수문·수재해 정보의 신뢰성 확보**와 **위험예측 기술 고도화의 중요성 증대**

자료원 : 경기도(2025)·제주특별자치도(2026) 보도자료, FEMA·Flood Re·AXA 홈페이지 등

Snap Shot

물산업의 미래를 준비하는 국제표준

K-water연구원 수자원환경연구소

■ 국제표준 선점은 기술경쟁력 강화와 신시장 창출을 위한 미래 성장 전략의 핵심

■ K-water는 탄소중립도시 국제표준 개발을 통해 물기술의 글로벌 확산 기반을 마련 중

□ [**표준화의 중요성**] 국가 차원의 기술표준화와 국제표준 확보는 **산업경쟁력의 핵심** 역할

220V 승압	‣ 32년(1973~2005년) 간 추진된 220V 승압 전압에 맞춘 설비·제품 전환은 전력효율 증대를 통해 대한민국 전기전자산업의 초석을 마련
반도체	‣ 반도체 표준 개발에 대한 꾸준한 투자 및 국제표준 규격화 주도로 반도체 산업을 대한민국 성장엔진으로 육성

□ [**K-water의 노력**] 50여 년간 **축적된 기술의 국제표준화를 통해 물산업 경쟁력 확보** 추진

◦ 탄소중립도시 국제표준 개발과 표준특허 창출지원사업*을 병행 중이며, 이 중 탄소중립도시 핵심성과지표(국제표준) 개발은 「제6차 국가표준기본계획」에 반영되어 정책 선도 중

* 국내 기업·대학·연구기관이 개발한 기술을 특허로 확보하고, 국제표준 반영을 지원하는 정부사업

국제표준 (IS)	【탄소중립도시의 성숙도·달성도 평가를 위한 핵심성과지표 개발】 (1부) 기존 도시지표 국제표준에 산재한 탄소중립 관련 지표를 선별하여 하나의 체계로 정리 (2부) 1부에서 개발한 체계 내에서 사각지대에 놓인 분야 발굴 및 핵심성과지표 신규 개발 현재 ▼ 예비작업 '25 → 신규작업 승인 '26 → 작업초안 '26 → 위원회안 '27 → 국제표준안 '28 → 발간 '29
기술보고서 (TR)	❶ 전 세계 탄소중립도시 프로젝트를 에너지·교통·물환경 등 10개 주제로 사례조사·정리 * 부산 에코델타시티, 강원 수열에너지 클러스트 사례 등 수록('26.3월 발간 완료) ❷ 전 세계 탄소중립도시 평가방식 및 지표를 수집하여 비교 분석('28년 발간 예정) ❸ 기후위기에 대비한 국제·국가·지방 도시계획 지침과 기법을 조사 분석('27년 발간 예정)

◦ 해당 기술들은 세계 각 도시의 물관리 수준을 진단하고, 솔루션을 제안하는 K-water의 물특화 도시(Smart Water City) 글로벌 비즈모델과도 연계해 해외진출 기반으로 활용 계획

➡ K-water의 국제표준화 노력이 미래 대한민국 물산업 발전에 기여할 것으로 기대

자료원 : K-water연구원 자체 연구자료(PIM기반 스마트 도시 물관리 사업 원스톱 의사결정 지원프레임워크 구축)

Snap Shot

AI 이미지 학습을 활용한 수돗물 미세 이물질 분석기술

K-water연구원 상하수도연구소

■ 수질기준을 만족하는 수돗물도 공급과정에서 관로 부식, 침전물 부유, 시공 등의 영향으로 미세 이물질이 유입될 수 있으나, 기존 수질검사 방식은 신속한 대응에 한계

■ K-water는 수돗물 속 미세입자를 필터에 포집하고, 이미지 특성과 정밀 성분분석 데이터를 연계한 AI 학습으로 미세 이물질의 특성 진단과 관망 수질관리 지원 기술 개발 중

□ [**기술동향**] 기존 수질검사의 한계를 보완하는 **AI 기반 미세 이물질 진단기술 등장**

◦ 국내에서는 필터에 포집된 수돗물 이물질의 색 차이를 수치화해 입자를 판별하는 연구*가 시도되고 있으며, 해외에서는 물속 조류 등 입자를 촬영하고 분류하는 기술 활용 중

* 포집 입자의 이미지 특성(색·형태·분포)과 정밀 성분분석 결과를 연계한 AI 학습으로 육안 판독의 한계 보완

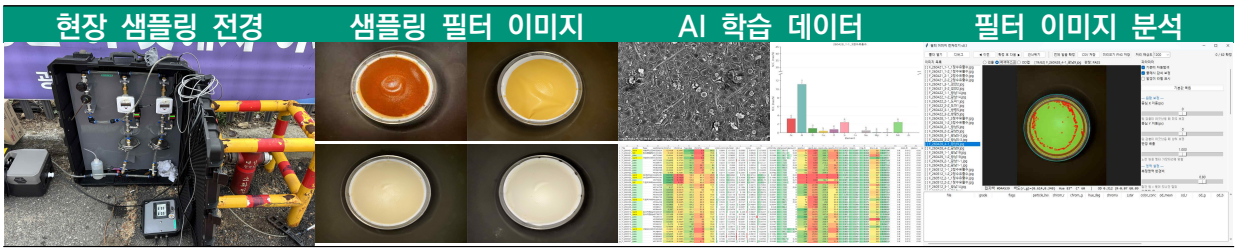


□ [**K-water 기술**] 표준화된 미세입자 포집과 AI 이미지 학습을 통해 신속한 수질특성 진단

◦ (**현장 샘플링 표준화**) 필터를 통과하는 유량과 압력을 정밀 제어·측정하는 장치를 제작하고, 필터 포집·이미지 촬영 조건을 표준화하여 조사자·지점별 측정 편차 최소화

◦ (**AI 학습·분석**) 필터의 색 특성과 물속 입자(성분·조합·함량) 분석 결과를 연계한 AI 학습·분석으로 필터 이미지만을 활용한 신속한 현장 수질 평가

◦ (**관망관리 의사결정 지원**) 지점별 수질특성과 관망 운영정보를 종합해 수질 취약 구간을 진단하고, 이물질 발생원인별 대응 및 관세척 우선순위·효과 평가에 활용



➡ 현장조사부터 AI 학습·분석, 의사결정까지 체계적으로 연결하여, '수질문제 발생 후 대응'에서 **'미세 이물질 원인에 따른 맞춤형·사전 관리'로 전환하는 기반 마련**

자료원 : K-water연구원 자체 연구자료(미세입자물질 분석을 통한 관망 수질진단 및 대응 의사결정 지원 기술 개발)

Snap Shot

진동으로 댐을 분석하다 - 최신기술로 보는 댐안전 모니터링

K-water연구원 물인프라안전연구소

■ 지반의 진동 특성을 활용한 비파괴 탐사기술, 댐 내부 상태평가 수단으로 주목

■ 무선·다점 계측과 AI 기반 해석 기술의 발전으로 댐 안전 모니터링 활용 가능성 확대

□ **[표면파 탐사]** 지반을 통과하는 **진동 특성을 분석**하여 **지반 내부의 강성 및 구조적 특성 추정**

◦ 시추조사의 공간적 한계를 보완하는 비파괴 조사 방법으로, 지반의 전단파 속도 분포와 이상 구간을 추정하여 댐·제방 안전성 평가에 활용

XiaoDongGou 광산댐(중국, '26)	▸ 1년간 HVSR(Horizontal-to-Vertical Spectral Ratio) 기법으로 댐 고유진동수 및 건전성 평가
Se San 4 댐(베트남, '26)	▸ MASW(Multichannel Analysis of Surface Waves) 기법으로 누수 경로 예측
Bariones, Chestnut Hill 댐(미국, '25)	▸ HVSR, 지진기록을 활용한 제체의 진동 특성 평가

□ **[계측기술 발전]** 무선·소형 센서와 다점 계측기술의 발달로 **지반 탐사의 시공간 범위 확장**

무선·소형화	▸ 케이블 없는 무선 노드형 센서로 다수 측점의 신속한 계측 및 현장 조사 효율 향상
다점·반복 계측	▸ 다수 센서의 동시 관측과 반복 측정으로 2·3차원 지반 물성 분포 추정 및 변화 추적

□ **[AI 기반 해석]** 대규모 학습데이터를 활용한 **AI 역산기술로 처리시간 단축**, 일반적인 이론 적용이 어려운 복잡한 댐에 대한 **표면파 계측 데이터 해석 관련한 연구로 확대**

◦ OpenSWI('26) 등 대규모 공개 데이터셋을 활용하여 표면파 분산곡선과 지반 물성 간 관계를 학습하고, 기존 반복 계산 중심의 역산 과정 일부를 AI로 대체



➡ 표면파 탐사를 기존 시추·물리탐사 계측과 연계하여 **댐 내부 상태 평가의 신뢰성 강화**

➡ 무선 계측 및 AI 해석 기술의 활용을 통한 **댐·제방 모니터링 체계 고도화 추진**

자료원 : Liu et al., OpenSWI: a massive-scale benchmark dataset for surface wave dispersion curve inversion, Earth Syst. Sci. Data, 18, 2769–2798

Snap Shot

국제 공동연구를 통한 '수소 생산-저장 일체형 시스템 개발

K-water연구원 물에너지연구소

■ 재생에너지 확대와 그린수소 시장 성장에 대응한 고효율 수소 생산·저장 기술 확보 중요

■ 국제 공동연구(한국-스위스)로 수소 생산·통합체계 구현 및 그린수소 기술경쟁력 강화 추진

□ **[추진배경]** 재생에너지 확산에 따라 그린수소 시장이 크게 성장하고 있으며, 발전량 변동에도 신속하게 대응하고 고효율·고밀도 운전이 가능한 **'PEM(고분자전해질) 수전해' 기술의 중요성 부각**

* Proton Exchange Membrane 수전해 : 설비의 소형·모듈화에 유리, 발전량 변동이 큰 재생E(태양광·풍력 등) 연계에 적합

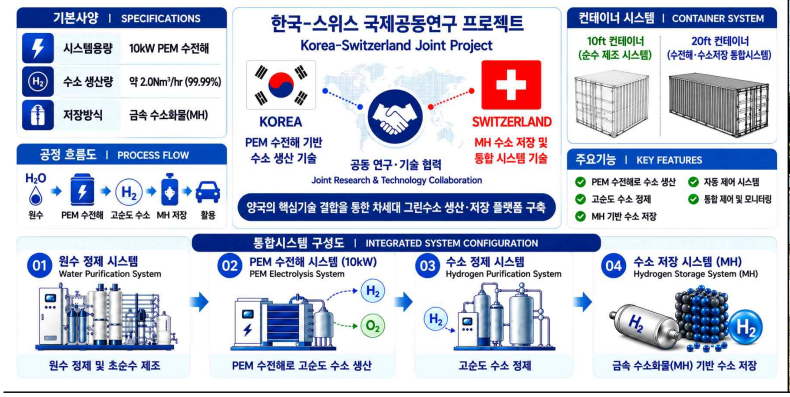
세계 그린수소 시장 규모	▸ 329백만$(2020년) → 4,373백만$(2026년), CAGR 58.0%
세계 PEM 시장규모	▸ 126백만$(2020년) → 1,938백만$(2026년), CAGR 57.7%

◦ 생산된 수소를 별도의 압축·저장설비에 이송하는 기존 수소 공급체계는 효율성과 안전성에서 불리

□ **[개발기술]** 한국과 스위스가 가진 우위 기술을 통합하는 기술협력을 통해 **10kW급 수소 생산-저장 일체화 시스템을 개발·구축**('26.5)하여 **실증 실시**(~'26.10), **시스템 최적화 추진** 중

한 국	▸ 카트리지형 스택을 적용하여 유지보수 편의성과 운전 유연성을 높인 모듈형 PEM 수전해 시스템 개발
스위스	▸ 금속수소화물의 수소 흡·방출 특성을 활용하여 저압저장이 가능한 고체 수소저장 시스템 개발

수전해-수소저장 시스템 개발 개요



실증 시스템 구축 사진



□ **[기대성과]** ❶ 통합 공정으로 운영 효율 증가, ❷ 생산·저장량 연계 제어로 재생E 변동에 유연하게 대응, ❸ 수소 저장·운송 안전 제고, ❹ 모듈형 통합으로 분산형 수소 공급체계 구축 등

* 수소 생산효율 72.25% 확보 확인 (미국 에너지부에서 요구하는 상용화 조건의 94% 수준)

➡ K-water는 본 연구를 통해 구축한 수전해 실증시설의 운영·진단을 위한 **디지털트윈 모니터링 관리시스템 개발** 및 **차세대 수전해인 AEM(음이온교환) 수전해의 추가 실증**을 통해 **수소 생산효율을 지속적으로 증가**시켜 나갈 계획

자료원 : K-water연구원 자체 연구자료(국제협력 기반 PEM 수전해-수소저장 통합시스템 구축)

에이전트 시대의 보안, 해킹하는 AI와 검증하는 AI

K-water연구원 AI연구소

■ AI가 정보 수집부터 보안시스템 공격, 악성코드 제작까지 사이버 공격의 다양한 단계에 활용되면서 **공격의 속도와 자동화 수준이 빠르게 높아지는 추세**

■ 이에, **AI 기반 보안 취약점 검증**과 위험도에 따른 **접근권 통제**가 新 대응 방안으로 부상

□ **[현실화된 위협]** AI가 사이버 공격 지원을 넘어 **실제 공격 과정까지 개입**

◦ 2025년 AI를 활용한 사이버 공격자의 활동은 **전년 대비 89% 증가**했으며, 인증정보 탈취·탐지 회피 등에서 AI 활용이 확대된 것으로 분석(CrowdStrike, '26.2)

◦ 국내에서도 올해 9월 말~10월 초 금융사 연쇄 해킹 사고가 발생했으며, 금융당국은 여러 기관에서 동일한 공격 IP를 확인하고 AI를 활용한 대규모 자동화 공격 가능성을 제기

□ **[물분야 사례]** AI를 활용한 **멕시코 몬테레이 상하수도공사 제어망 침투 시도**(26.1)

◦ 승인된 모의해킹으로 위장해 보안장치를 우회하고, **정보 수집과 공격 도구 제작에 AI를 활용**

◦ 산업제어시스템에 대한 지식이 부족했음에도 AI를 활용해 업무망에 침투한 후, SCADA 연계 서버를 통해 제어망까지 침투 시도

◦ 최종 침투에는 실패했으나, AI가 사이버 공격의 기술적 진입 장벽을 낮춰 **비전문가도 정교한 공격을 시도할 수 있음을 보여준 사례**

□ **[대응 동향]** AI로 보안 취약점 검증을 강화하되, 접근권한은 업무범위에 맞게 제한

취약점 탐지 및 재검증	▸ 코드의 데이터 흐름을 분석해 취약점을 탐지하고, 다단계 재검증을 거쳐 신뢰도·재현 방법·수정 방안 제시(Claude Security, Codex Security)
검증 기반 접근권한 및 사용 통제	▸ Anthropic(CVP): 사용자·업무범위·보안요건을 검증해 사이버 기능을 3단계로 차등 허용하고, 등급별 안전장치로 위험행동 차단 ▸ OpenAI(Daybreak Access): 검증된 사용자의 보안 업무를 지원하되, 사이버 특화 모델은 추가 심사를 거쳐 제공하고 승인된 범위에서 사용하도록 통제

➡ AI 기반 사이버 공격이 고도화됨에 따라, **물 인프라도 기존 보안체계를 점검하고 신속한 위협 탐지와 AI 에이전트 접근·행위 통제 역량 강화 필요**

자료원 : CrowdStrike, 「2026 Global Threat Report」(2026.2) / Dragos, 「AI-Assisted Compromise of Mexican Water Utility with OT Implications」(2026.5) / Anthropic·OpenAI 공식 발표 등

생성형 AI 三國志, 진화와 최신 트렌드

K-water연구원 AI연구소

■ **ChatGPT, Gemini, Claude 등** 주요 생성형 AI 모델 간 경쟁이 치열해지면서, AI 성능이 빠르게 향상되고, 경쟁의 중심도 단순 질의응답에서 실제 업무 수행능력*으로 이동

* 추론, 에이전트, 도구 활용 등

□ GPT가 연 생성형 AI 시대와 **3파전의 본격화 (2022~2024)**

◦ 2022년 11월 OpenAI의 ChatGPT 출시로 생성형 AI가 대중화되었으며, 검색·문서작성·번역·코딩 등 다양한 업무에 대규모 언어모델(LLM, Large Language Model)이 활용되기 시작

◦ Google의 Gemini는 검색·유튜브·안드로이드 등 기존 서비스와의 연계성을, Anthropic의 Claude는 긴 문서 처리·코딩·안정성을 강점으로 ChatGPT와 경쟁구도 형성

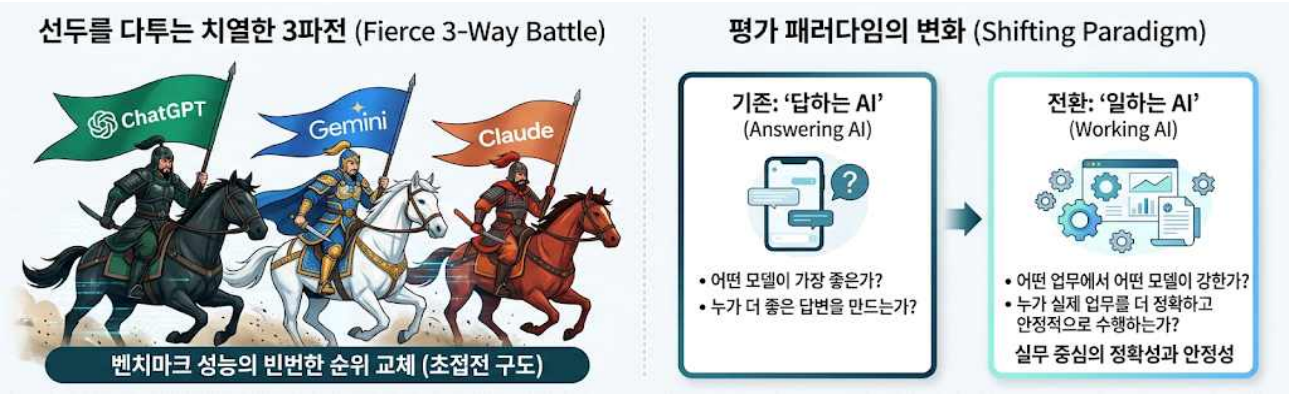
□ 신모델 출시마다 선두가 뒤바뀌는 **치열한 경쟁 (2025~2026)**

◦ 세 기업이 모두 추론(Reasoning) 능력을 강화한 차세대 모델을 잇달아 출시하며 **벤치마크별 성능 순위가 수시로 바뀌는 치열한 경쟁** 지속

◦ 모델마다 우위를 보이는 분야가 달라지면서, 단순히 “어떤 모델이 가장 우수한가?”보다 **“어떤 업무에 어떤 모델이 적합한가?”가 중요한 선택 기준으로 부상**

□ **‘답하는 AI’에서 ‘일하는 AI’로 진화**하는 최신 기술 트렌드 **(2026~)**

◦ **AI 경쟁의 중심이** 단순 질의응답의 챗봇 성능에서 복잡한 문제를 단계적으로 해결하는 추론(Reasoning), 스스로 작업을 계획·수행하는 에이전트(Agent), 프로그램 실행·문서 작성 등을 지원하는 도구 활용(Tool Use) 등 **실제 업무 수행 능력으로 이동**



자료원 : Stanford University HAI, 「AI Index Report 2025·2026」

NEWs & EVENTs

News & Event



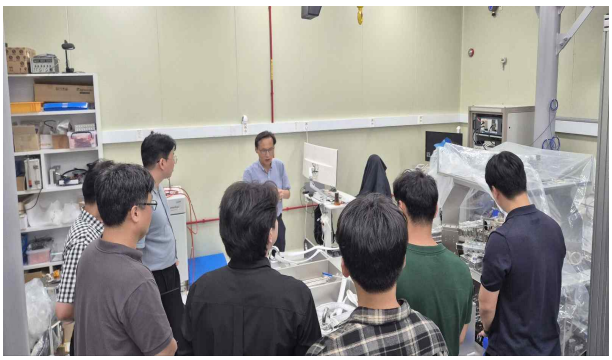


01 K-water-미 육군공병단(USACE), 수자원 기술교류·협력세션 운영 【9.10】

K-water연구원은 9월 10일(목) 대구 EXCO에서 열린 「2026 대한민국국제물주간(KIWW)」에서 미 공병단(USACE)과 수자원 기술교류 및 협력 세션을 개최하였다.

이번 세션에서 댐 자산관리, 물 인프라 내진 기술, 디지털트윈 플랫폼 'Digital GARAM+', 실시간 물관리 시스템 'HEC-RTS' 등 4건의 기술 발표가 이어졌다. 이후 양 기관은 메콩강 공동사업의 후속추진과 국제대댐회(ICOLD) 연계 협력 등 향후 공동과제 발굴 방안에 대해 논의하였다.

02 한국표준과학연구원(KRISS)과 부피교정분야 기술교류회 실시 【9.9】



9월 9일(수)에 실시된 KOLAS(한국인정기구) 기술교류회는 양 기관의 교정·검사 담당자 등 13명이 참석하여 최신 교정기술과 측정방법을 공유하였다.

참석자들은 교정 주요 사례와 연구 동향을 살펴보고, KOLAS 재평가에 대한 대비와 함께 KRISS 부피측량연구실의 최신 측정 장비를 직접 확인하는 등 상호 기술역량 향상을 위한 활동을 시행하였다.

03 차세대 분리막 기술 국제 전문가 세미나 개최 【9.9】



K-water연구원은 반도체용 초순수 생산 기술 개발 방향 설정을 위하여 일본의 TORAY와 홍콩과학기술대학교 전문가를 초청해 9월 9일(수), 국제 전문가 세미나 개최하였다.

발표자들은 저분자 물질 제거용 역삼투막과 AI 기반 분리막 설계 기술을 소개하였으며, 질의응답을 통해 초순수 대체수원 확보를 위한 후처리 공정 연구와 AI 기반 최적화 필요성에 공감하였다.

News & Event





04 「미래 R&D 인재캠프」 멘토·멘티 워터투어 시행 【9.18】

K-water연구원은 9월 18일(금) 「미래 R&D 인재 캠프」 참가자를 대상으로 K-water 물관리시설 견학을 실시하였다.

단순 시설견학을 넘어 연구와 현장의 연계 역량을 높이기 위해 마련된 이번 견학에는 멘티와 멘토, 신입직원 등 25명이 참가하였다.

참가자들은 대청댐, 물관리상황실, 유역수도 상황실, 수질분석센터를 차례로 방문하며 수자원 확보부터 수질 관리까지 물관리 전 과정을 체험하였다.

05 EUPVSEC(유럽 태양광 학술대회) 2026 참가 【9.16~9.18】



9월 16일(수)부터 18일(금)까지는 네덜란드 로테르담에서 열린 EUPVSEC* 2026에 참가하여 연구성과를 발표하였다.

연구진은 태양광 직접연계 그린수소 시스템과 양면형 모듈의 수상태양광 적용 실증 결과를 발표하였으며, 출력제한 대응, AI 기반 태양광 진단 등 최신 연구 동향 파악 및 향후 기술 교류 확대에 대해 논의하였다.

* European Photovoltaic Solar Energy Conference
태양광 분야 국제 학술대회 겸 전시회(since 1977)

06 제3회 2026 토양·지하수 협력 컨퍼런스 개최 【9.17】



9월 17일(목), K-water연구원은 농어촌연구원, 한국수자원학회, 한국농공학회와 함께 「제3회 2026 토양·지하수 협력 컨퍼런스」를 개최하였다.

이번 행사에는 유관기관과 학계·업계 관계자 등 130여 명이 참석하였으며, '기후위기 대응을 위한 토양탄소·지하수·수열에너지 활용기술 개발'을 주제로 특강·발표·토론이 진행되었다. 기관들은 이를 바탕으로 토양-지하수-수열에너지 연계 공동 R&D 과제 발굴과 현장 실증을 확대해 나갈 계획이다.

News & Event





07 캐나다 퀘백주·한인과학기술자협회와 연구협력 확대 【10.8 / 10.15】

K-water연구원은 캐나다와의 물관리·과학기술 분야 연구협력 방안을 모색하기 위해 주한퀘벡대표부 다미앙 페레이라 대표 일행 및 캐나다한인과학기술자협회 최효직 회장 일행과 잇달아 회의를 가졌다.

이번 회의 결과로 퀘벡주와는 AI 기반 댐 운영과 수력발전 분야 협력 및 '27년 대전 ICOLD 연차회의 연계 교류를 하기로 하였고, 협회와는 「CKC 2027」와 연계한 연구·교육 협력을 구체화하기로 하였다.

08 댐 동적운영 기술 개발을 위한 전문가 세미나 개최 【9.22】



K-water연구원은 9월 22일(화) 경북대학교 이기하 교수를 초청하여 홍수 피해 저감을 위한 댐 동적 운영 기술 개발 관련 전문가 세미나를 개최하였다.

이번 세미나에서는 원격탐사 기반 강우·범람 자료에 대한 활용과 관련 사례를 공유하였고, 아울러 물리모델과 AI 기반 홍수예측 기술을 향후 ODA 등 국제협력사업과 연계하여 해외로 확산하는 방안을 논의하였다.

09 2026 한국정책학회 추계학술대회 특별세션 운영 【10.15】



K-water연구원은 10월 15일(목) 국립세종수목원에서 열린 「2026 한국정책학회 추계학술대회」에서 'AI 대전환 시대의 물관리 가치와 정책'을 주제로 특별세션을 개최하였다.

세션에서는 물관리 초격차 기술의 경제적 가치 평가와 국민수용성을 고려한 요금관리 정책 방향을 발표하였으며, 경제적 가치평가 체계 마련과 수도 재정 현안과 향후 연구과제에 대한 활발한 논의를 진행하였다.

News & Event





10 3분기 K-water연구원 One-Step^{UP} 특강 실시 【10.23】

K-water연구원은 10월 23일(금) 미래학 전문가 KAIST 문술미래전략대학원 서용석 교수를 초청해 'AI 시대, 미래를 읽는 힘과 새로운 역량'을 주제로 특강을 개최하였다.

이번 강의에서는 AI와 기후변화, 인구구조 변화가 동시에 진행되는 시대에 개인과 조직이 갖춰야 할 시각과 역량을 짚었다. 특히 기록되지 않는 지식(암묵지)과 인재 확보의 중요성을 강조해, 직원들이 AI시대에 필요한 데이터와 역량에 대한 관점을 넓히는 기회가 되었다.

11 2026 수자원 SOC 안전포럼 참여 【10.20】



「2026년 수자원 SOC 안전포럼」이 '댐 시공 및 유지관리에 따른 기준 및 지침 개정'을 주제로 10월 20일(화), 국토안전관리원 영남지역본부에서 개최되었다.

K-water연구원 및 한수원을 비롯한 4개 기관이 물인프라 안전관리 관련 기술교류 및 아젠다 발굴을 위해 마련된 해당 포럼은 참여 기관들의 댐 안전 분야 공동 연구 과제를 발굴하고 협력 네트워크를 강화하는 역할을 하고 있다.

12 신입연구원 기획연구 성과발표회 개최 【10.27】

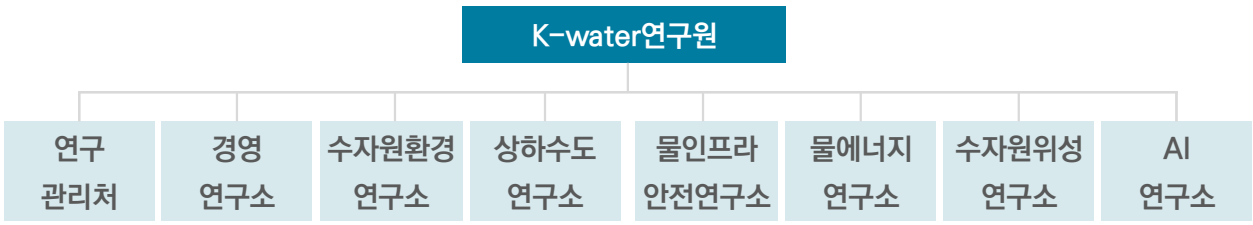


10월 27일(화)에는 K-water 신입연구원들의 기획연구 성과발표회를 개최하였다. 이번 발표회는 중장기 연구계획의 시작점인 기획연구를 단계적으로 발전시키는 동시에, 신입연구원들의 역량 강화를 위해 시행되었다.

신입연구원들은 각자의 연구계획을 발표하였고, 연구원장과 부서장들이 계획의 타당성과 실효성을 점검하여, 향후 본격적인 연구로 이어질 수 있는 계기를 마련하였다.

K water 연구원
• 오시는길 : 34045 대전광역시 유성구 유성대로 1689번길 125(전민동 462-1)
• 홈페이지 : http://www.kwater.or.kr/kiwe

K-water연구원은 한국수자원공사 산하 부설 연구기관으로, 과학적인 물관리 기술 연구를 기반으로 기후위기 대응을 선도하고 있습니다



AI 연구
물관리 디지털 전환 핵심 AI 기술 확보

- 물관리 全과정 디지털 전환 위한 표준 AI 모델 개발
- 드론과 AI를 활용한 댐 디지털 트윈(DT) 구축
- AI 자율운영 기반의 스마트 정수장 구축

물에너지
청정 新재생에너지 리딩

- 수열, 수력, 수상태양광 설계 · 운영 기술 개발
- 재생에너지 연계한 그린수소 생산 · 정제기술

수자원·환경
선도형 수자원·환경 기술 기반 물재해 대응력 강화

- 수자원 해석 全분야 기술 디지털화 및 DT 플랫폼 탑재 기술
- 유역통합 물환경 개선 및 생태가치 증진 기술

수자원 위성
세계 최초 위성 기반 수자원 관리

- 수자원위성 개발과 수재해 감시에 필요한 인프라 · 활용기술 구축
- 접경지역 하천, 녹조 등 수자원 현황 모니터링

연구협력
Global Think-tank

- 글로벌 물전문기관과 협력

* 2027년 국제대댐회 연차회의 대전시 유치 등 성과

경영·정책·경제
국민체감형 물정책 발굴

- 국민 맞춤형 통합 물서비스 제공 위한 물정책 연구 및 물산업 육성방안 제시
- 경제성 분석 통한 新사업 추진 및 미래 사업전략 개발

상하수도
안전하고 깨끗한 물공급

- 첨단용수 생산 및 신종 미량물질 제거 기술
- 디지털 기반 상수도 인프라 안정성 및 효율성 제고 기술

물인프라 안전
극한기후 속 스마트 안전관리

- 시설 안전성 향상 및 노후화 대응 댐 안전성 강화 기술
- AI & 로보틱스 기반 수자원시설 무인화 점검체계 구축

Water&Tech INSIGHT 제10호(2026년 10월)

주 관 K-water연구원

발행처 K-water연구원 경영연구소

발행인 원장 김병기

발행일 2026년 10월 30일

문 의 K-water연구원 경영연구소 (042-870-7359)

홈페이지 http://www.kwater.or.kr/kiwe

※ K-water연구원의 사전 동의 없이 본 보고서의 내용을 무단 전재하거나
제 3자에게 배포하는 것을 금합니다.