

02

스마트안전 기술의 현재와 미래

안창범 교수(서울대학교)

1

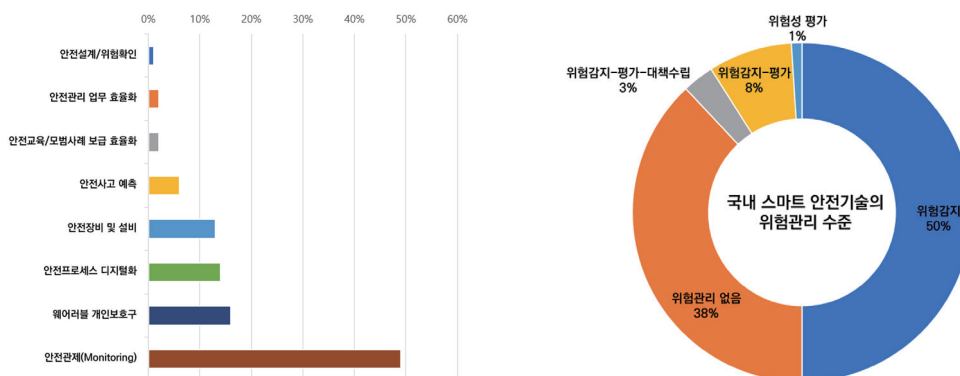
개요 및 시장동향

■ 안전의 새로운 패러다임 정의

● 국정기획위원회 산업재해 관련 국정과제

- 최근 정부는 산업재해 감축은 더 이상 선택이 아닌 최우선 국정과제로 지정하며 그 중요성이 부각 되고 있음. 2025년 산업 안전보건 정책은 기존의 사후 처벌 중심에서 벗어나, 리스크 평가 기반의 선제적 예방 시스템을 구축하는 방향으로 전면 전환 되었음.¹³⁾ 이러한 패러다임의 전환 속에서 스마트안전 기술은 시대적 과제에 대비하기 위한 핵심적인 수단이자 필수 불가결한 요소임.
- 정부의 정책 방향은 크게 세 가지 축으로 요약됨. 첫째, ‘원·하청 통합 안전보건관리체계’ 구축을 통해 하청 노동자 보호를 강화하고, 원청의 책임을 명확히 함.¹⁴⁾ 둘째, ‘안전보건공시제’를 도입하여 기업의 안전 관련 투자와 활동 내역을 투명하게 공개하도록 의무화함.¹⁵⁾ 셋째, ‘위험성평가’ 제도를 실질적으로 개편하여, 노동자의 참여를 보장하고 평가 미 실시 시 벌칙을 부과하는 등 현장 실행력을 담보하는 데 중점을 둠.
- 이러한 정책들은 모두 데이터에 기반한 체계적이고 투명한 안전관리가 요구됨. 특히, 중대재해처벌법 시행 등으로 안전에 대한 사회적 요구 수준이 높아지면서 기존의 인력 중심 안전관리 방식은 한계에 직면하게 됨. 이에 따라 건설안전 분야에서는 AI, IoT, 드론, 빅데이터 등 첨단 기술을 활용하여 위험 요소를 사전에 예측하고 현장을 실시간으로 모니터링하는 스마트안전 기술이 핵심 대안으로 부상하고 있음. 이러한 스마트안전 시스템은 원·하청이 위험 정보를 실시간으로 공유할 수 있게 하고, 복잡한 현장의 위험 요소를 과학적으로 평가하며, 모든 안전 활동을 디지털로 기록·증명할 수 있도록 지원함. 이는 정부가 강조하는 ‘서류 중심’이 아닌 ‘실행과 증거 중심’의 안전관리 체계를 구현하는 가장 효과적인 방법임.

● 성장통을 겪는 스마트 안전 기술 시장: 불균형에서 통합 관리로¹⁶⁾



국내 스마트 안전기술 적용 분야 및 위험관리 수준

13) 한국노동연구원 정책연구부. 정책의견서. 한국노동사회연구소. 2025년 8월 14일. https://kilsh.or.kr/wp-content/uploads/2025/08/한노보연이재명정부_정책의견서25.08.14.pdf

14) “산재와의 전쟁” 당정, 초고액 과징금 추진.” 중앙일보, 2025년 8월 11일. <https://www.joongang.co.kr/article/25358079>

15) 제21대 대통령선거 공약 목록, 정책-공약마당. 중앙선거관리위원회. 2025년. <https://policy.nec.go.kr/plc/commiment/UELPromisePopup.do?menuName=%EC%A0%9C21%EB%8C%80+%EB%8C%80%ED%86%B5%EB%A0%B9%EC%84%A0%EA%B1%B0&ocrCnvrSeqNo=11230>

16) 홍성호, 조재용 (2022). 스마트 안전기술 동향 분석과 시사점. 건설정책리뷰. 대한건설정책연구원, 2022년 9월 20일. https://www.ricon.re.kr/board/view.php?no=5251&group=publication&page=policy_review&cate=2

- 국내 스마트 안전 기술 시장은 특정 분야에 기술이 집중되는 심각한 불균형에 직면해 있음. 대부분의 기술이 프로젝트 차원(98%) 및 시공 단계(98%)에 편중되어 있으며, 그 목적 또한 근로자의 위험 행동을 관찰하는 ‘안전관제’(49%)에 집중되어 있음. 이는 안전설계(1%), 안전관리업무 효율화(2%) 등 다양한 분야에 기술이 적용되는 해외 시장과 대조적인 모습임. 이러한 통계는 국내 시장이 스마트 안전 기술을 주로 ‘감시, 모니터링, 기록’을 위한 사후 대응적 도구로 인식하는 현실을 명확히 보여줌.
- 이러한 기술 및 적용 분야의 불균형은 국내 스마트 안전 기술이 재해의 근본 원인을 제거하기보다 기존의 작업 방식 내에서 불안정한 상태를 임시 보완하는 피상적 안전관리에 머무르게 함. 결국 대부분의 기술이 위험을 단순히 감지하는 대응형 위험 관리 수준에 그쳐, 위험성 평가와 대책 수립까지 이어지는 종합적이고 선제적인 재해 예방 체계를 구축하는 데 한계를 드러내고 있음.
- 따라서 이러한 한계를 극복하고 국내 스마트 안전 기술 시장의 질적 성숙을 이루기 위해서는 현재의 작업 절차나 습관을 일부 보완하는 것을 넘어 작업 방식 자체를 근본적으로 변화시키는 근원적 안전관리 기술로 진화해야 함. 또한 위험 감지에서 평가, 대책 수립, 환류까지 전 과정을 유기적으로 지원하여 예방 활동이 완성된 고리를 이루는 종합적 위험관리 기술로 발전해야 함.
- 이 모든 기술적 진보는 현장에서 체감할 수 있는 실효성이 담보될 때 비로소 완성됨. 이를 위해 건설사업 전주기의 안전관리 데이터를 디지털화하여 축적된 정형-비정형 데이터를 통해 지능형 안전관리의 토대를 마련해야 함. 이는 기존 안전관리 업무의 효율성을 높이고 사고 위험이 높은 중소규모 현장까지 기술이 확산될 수 있도록 경제성을 확보하는 핵심적인 과정이 될 것임.

2 기술동향

인공지능과 스마트안전 기술

- 인공지능(AI, Artificial Intelligence) 개요¹⁷⁾



AI의 시작과 발전 과정, 미래 전망

- AI는 인간의 지능적 사고와 학습 능력을 모사하여 데이터 기반으로 패턴을 분석하고 의사결정을 지원하는 기술임. 최근에는 단순한 데이터 처리 수준을 넘어, 영상·음성 인식, 자연어 처리, 예측 분석 등 다양한 분야에서 활용되며, 특히 안전 분야에서는 사고 예방 및 실시간 대응 능력을 크게 향상시키는 기반 기술로 주목받고 있음.
- 스마트안전 기술의 발전은 단순식별에서 각 기술의 한계를 상호 보완하며 완성됨. 초기 합성곱 신경망(CNN, Convolutional Neural Network)을 기반으로 한 컴퓨터 비전(CV, Computer Vision)은 이미지 속 객체를 탐지함. 이후 트랜스포머 아키텍처의 등장으로 문맥적 추론 능력을 갖춘 대규모 언어 모델(LLM, Large Language Model)이 부상하며 텍스트 데이터의 지능적 활용 시대를 열었음. 그리고 마침내 이 두 기술이 융합된 비전 언어 모델(VLM, Vision Language Model)이 등장하며, 단순히 보는 것을 넘어 현장의 상황을 이해하고 설명하는 패러다임의 전환을 이끌어냄.

● 컴퓨터 비전(CV, Computer Vision) 개요: 이미지 기반 AI 기술의 자동화¹⁸⁾



CV를 이용한 건설 장비 탐지

- 인간의 시각적 인지 능력을 기계로 모방하여, 영상 데이터 속에서 특정 객체나 상황을 자동으로 식별하고 분류하는 기술임. 기술적으로 이미지의 특징을 추출하고 학습하는 데 탁월한 성능을 보이는 CNN이 기반이 되었음.
- 이러한 CV 기술은 다양한 안전관리 영역에 즉각적으로 적용됨. 현장 작업자의 개인보호장비(PPE) 착용 여부 감시, 실시간 위험 구역 출입 통제 시스템, 작업자의 이상 행동 감지 그리고 장비와 작업자 간의 위험한 근접 감지 후 충돌 방지하는 등 상호작용 분석에도 활발히 사용됨. 하지만, CV는 맥락적 이해의 부재라는 명확한 한계를 가짐. 사전 정의된 규칙에 따라 객체를 높은 정확도로 식별할 수 있지만, 이들 간의 관계나 특정 상황이 갖는 의미를 해석하지 못하는 기술적 한계를 보임.

● 자연어 처리(NLP)와 대규모 언어 모델(LLM): 언어 데이터의 지능적 활용¹⁹⁾



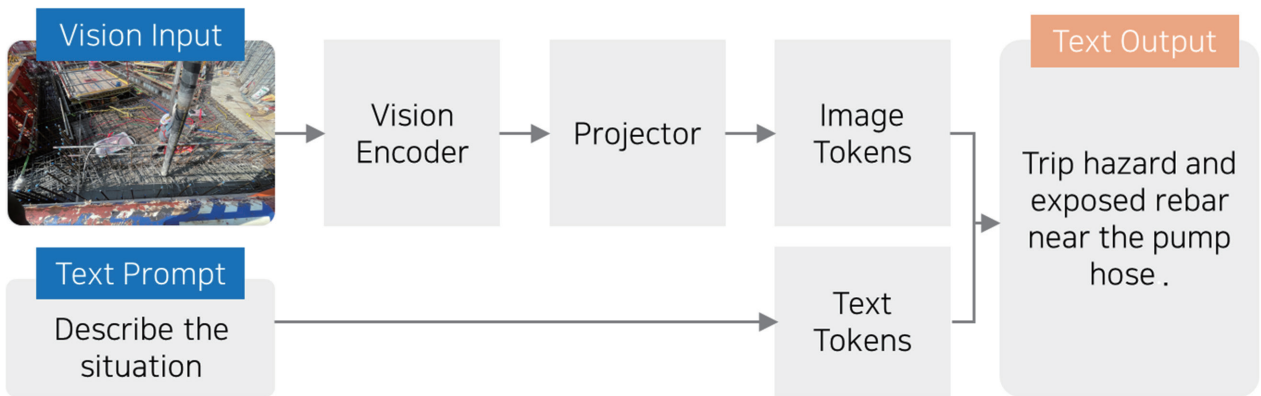
LLM을 이용한 작업계획서 기반 사고 예측 시스템

18) 그림. CV를 이용한 건설 장비 탐지, (출처: Jeong, G., Park, M., & Ahn, C. R. (2025). Computer vision-aided audio dataset generation for construction equipment from online sources [Figure 2]. Automation in Construction, 171, 106014)

19) Yoo, B., Kim, J., Park, S., Ahn, C. R., & Oh, T. (2024). Harnessing generative pre-trained transformers for construction accident prediction with saliency visualization. Applied Sciences, 14(2), 664.

- 인간의 언어를 컴퓨터가 이해하고 분석할 수 있도록 처리하는 모든 기술을 포괄함. 초기 NLP(Natural Language Process)는 단어의 빈도 분석이나 정해진 규칙 기반의 분류 수준이었으나, 딥러닝의 발전과 함께 문맥을 이해하는 방향으로 진화했음. 특히, 2017년 등장한 트랜스포머(Transformer) 아키텍처는 문장 내 단어들의 관계에 대한 가중치를 부여하는 Attention 메커니즘을 통해 이전 모델들의 한계였던 장문의 맥락 의존성을 효과적으로 해결함. 이러한 기술적 도약은 생성형 AI의 폭발적인 발전을 이끌었으며, 단순한 분석을 넘어 인간과 유사한 텍스트를 생성하고, 복잡한 추론을 수행하는 능력을 갖추게 되었음.
- 건설 안전 분야에서 텍스트 형태로 존재하는 방대한 비정형 데이터(작업일지, 안전점검표, 사고 보고서 등)의 가치를 극대화함. 보고서에서 위험 요소를 자동으로 추출 및 분류하고, 작업 계획서의 맥락을 분석하여 잠재적 사고를 예측함. 또한, 안전 규정에 대한 질의에 실시간으로 답하는 대화형 안전 비서 역할도 수행함. 하지만, 텍스트 정보에만 의존하기 때문에 현장의 시각적, 물리적 상황을 직접 인지하지 못하는 한계가 있음. 이는 시각 데이터와의 연계 필요성을 시사함.

● 시각과 언어의 융합: 비전 언어 모델(VLM)의 부상



이미지 및 텍스트 융합 기반 현장 위험 이해

- 스마트 안전 기술의 비약적 도약은 CV의 시각적 인지 능력과 LLM의 문맥 이해 능력을 하나로 결합한 비전 언어 모델에서 시작됨. VLM은 단순히 이미지를 분석하는 것을 넘어, 현장의 상황을 인간 전문가처럼 종합적으로 이해하고 자연어로 소통하는 상황 인지 AI(Context-aware AI)의 핵심임. 객체 간의 관계와 동적인 상황을 종합적으로 분석하여 구체적인 위험 시나리오를 실시간으로 생성하며, 이는 다차원적 위험 시나리오 예측, 사고 원인의 자동화된 재구성, 현장 맞춤형 작업자 교육, 동적 안전 브리핑 등 안전 관리의 전 영역에 걸쳐 혁신을 주도하는 기반 기술이 됨.

4

스마트안전 기술의 전망과 제언

■ 데이터와 시로 여는 건설안전의 새로운 전환

- 스마트안전 기술의 필요성
 - 건설산업은 여전히 산업재해 발생률이 가장 높은 분야 중 하나이며, 기존의 인력 중심 안전관리 방식은 복잡한 공정과 급변하는 현장 상황에 대응하기 어렵다는 한계를 드러내고 있음. 특히 중대재해처벌법 시행 이후, “사후 책임”이 아닌 “사전 예방” 중심의 안전 관리 체계가 요구되면서, 데이터 기반 위험성 평가와 과학적 관리 체계는 선택이 아닌 필수로 자리 잡고 있음. 앞으로 산업안전은 규정 준수의 문제를 넘어 기업의 지속가능성과 직결되는 핵심 경영 과제가 되었으며, 스마트안전 기술은 이러한 패러다임 전환을 뒷받침하는 현실적인 대안임.
- 시가 바꾸는 위험성 평가의 패러다임
 - 스마트안전 기술의 핵심에는 AI, IoT, 드론, 빅데이터와 같은 첨단 기술이 자리하고 있음. 그중에서도 비전 언어 모델(VLM)을 중심으로 한 시는 기존 위험성 평가 방식의 한계를 넘어설 수 있는 가능성을 보여주고 있음. 이는 곧 “데이터를 보는 기술”에서 “상황을 이해하는 기술”로의 전환을 의미하며, 앞으로의 건설 안전 관리가 나아가야 할 방향을 잘 보여줌.



저자 정보

- ① 성명 : 안창범
- ② 소속 : 서울대학교 건축학과
- ③ 주요이력(학력포함) : 국토교통부 중앙건설기술심의위원회 위원(2024~)
미국토목학회(ASCE) Computing Division 집행위원회 간사(2023~)
ASCE DSA 위원회 산하 인간-기계 통합지능 태스크포스 리더(2021~)
서울대학교 교수(2021~)
텍사스 A&M대학교 부교수(2017~2021),
네브래스카대학교 링컨캠퍼스 조교수(2012~2017),
일리노이대학교 어바나-샴페인 캠퍼스 토목공학 박사,
컬럼비아대학교 석사
서울대학교 건축학과 학사·석사
- ④ 간략한 소개말(인사말) : 서울대학교 안창범 교수는 건설, 휴먼 팩터, 인공지능의 교차점에서 연구를 이어가며, 스마트하고 안전하며 연결된 생활·작업 공간 조성을 위한 학문적·산업적 기여를 하고 있음. 특히 AI와 IoT를 활용한 스마트 안전 건설, 증강현실(XR)을 통한 교육·훈련, 건설 분야의 인간-로봇 협업 연구를 통해 미래 건설 산업의 혁신을 선도하고 있음.

AI 기반 건설현장 위험성 평가 시스템 (주식회사 시엑스알)

- 현재 필자가 개발 중인 AI 기반 건설현장 위험성 평가 시스템²¹⁾은 VLM을 중심으로 설계된 차세대 스마트안전 기술임. 이 시스템은 텍스트 기반의 안전 규정·작업일지·점검표와 같은 비정형 데이터뿐만 아니라, 현장에서 수집되는 이미지·영상 데이터를 융합하여 위험 요소를 식별하고, 잠재적 사고 시나리오를 추론하며, 심각도와 발생 가능성을 자동 평가하도록 설계됨. 이를 통해 안전관리자의 주관적 판단에 좌우되지 않고, 표준화된 기준과 데이터 기반 증거를 토대로 위험성을 진단할 수 있음.
- 본 시스템은 현장의 맥락을 반영한 실증적인 평가를 가능하게 하며, 이는 단순히 안전사고를 예방하는 수준을 넘어 “실행과 증거 중심”의 스마트 안전 관리 체계를 구축하는 주춧돌이 되는 기술임. 본 연구와 기술 개발을 통해 건설 산업이 직면한 안전 문제 해결에 실질적인 기여를 하고, 더 나아가 사람 중심의 지속가능한 건설 환경을 조성하는 데 앞장서고자 함.

● 앞으로의 과제와 전망

- 산업재해가 국가적 주요 과제로 부상함에 따라 스마트안전 기술의 도입은 더 이상 선택이 아닌 불가피한 흐름임. 이러한 변화는 안전 관리의 방식이 경험과 직관에 의존하던 수준을 넘어, 데이터 기반의 과학적 체계로 전환되어야 함을 의미함. 따라서 현장에서 발생하는 방대한 데이터를 실시간으로 처리하여 위험 상황을 즉시 감지하고 선제적으로 대응할 수 있는 체계를 구축하는 것이 시급함. 또한 위험성 평가 결과가 단순한 분석에 그치지 않고, 작업자의 행동 변화와 관리자의 의사결정으로 자연스럽게 이어지는 실행 중심 구조의 정착이 필요함.
- 이러한 변화는 스마트안전 기술을 개별 현장의 도입 수준에서 뛰어넘어 안전 관리 문화와 패러다임 자체를 바꾸는 주축이 되고 있음. 본 기고문을 통해 건설업에 종사하시는 여러분께서 스마트안전 기술의 필요성을 인식하고, 시에 기반한 안전 관리 기술을 검토하는 기회가 되었으면 함. 필자도 연구와 현장 적용을 병행하며, 데이터와 시가 만든 실질적이고 스마트한 안전 관리 체계 구현에 적극 기여하겠음.

21) SEEXR 홈페이지, <https://seexr.co.kr>