

스마트제조 분야 거대언어모델 기반 안전성 평가 기술 동향

Trends in Large Language Model Based Risk Assessment Technology in the Smart Manufacturing Industry

김낙우 (N.W. Kim, nwkim@etri.re.kr) 콘텐츠지능화연구실 책임연구원
채원석 (W.S. Chae, wschae@etri.re.kr) 콘텐츠지능화연구실 책임연구원
유호영 (H.Y. Yoo, yoohy@etri.re.kr) 콘텐츠지능화연구실 선임연구원
이상은 (S.E. Lee, sange1104@etri.re.kr) 콘텐츠지능화연구실 연구원
김현진 (H.J. Kim, jini@etri.re.kr) 콘텐츠지능화연구실 책임연구원

ABSTRACT

This paper explains that the introduction of generative artificial intelligence (AI) and large language models (LLMs) to the manufacturing industry could play an important role in improving productivity and safety. Whereas traditional manufacturing has relied on the manufacturing execution system and the experience of experts, AI technology can now autonomously analyze data and support automated decision-making to improve the efficiency of the manufacturing process. In particular, AI is being actively used in safety management systems such as smart personal protective equipment, and LLM technology has been introduced in risk assessments to enable more effective and automated evaluation. In this study, we identified new research trends for managing the new risk factors caused by digital transformation through a specific case of safety assessment using LLMs. It is evident that these technological advances could significantly improve safety and efficiency in the manufacturing industry.

KEYWORDS LLM, Safety Assessment, Smart Manufacturing, 거대언어모델, 스마트제조, 안전성 평가

I. 서론

생성형 인공지능의 발전은 많은 분야에서 새로운 진화 패러다임을 이끌고 있다. 특히, 전통적 제

조 산업에서의 생성형 인공지능 기술의 도입은 제조 실행 시스템(MES: Manufacturing Execution System)을 통해 생산 프로세스를 관리하던 기존 형태에서 벗어나 방대한 양의 산업 제조 데이터를 자율적으

* DOI: <https://doi.org/10.22648/ETRI.2025.J.400106>

* 이 연구는 한국전자통신연구원 내부연구개발사업의 일환으로 수행되었음[24RT1600, 수도권 지역산업연계 기술발굴 및 기획연구].



로 분석하여 보다 자동화된 의사결정 프로세스 지원을 통해 생산성과 효율성을 크게 높일 수 있게 되었다. 일례로, 산업용 로봇의 자동화와 관련하여 거대언어모델(LLM: Large Language Model)에 기반한 인공지능 기술이 적용된 자율적 문제 해결형 로봇이 활발히 연구 중이다. 특히, 구글 딥마인드社は RT-1/2[1,2], RT-X[3] 등 VLA(Vision Language Action) 기반 모델[4]을 통해 이미지와 작업공정 절차 등을 입력받아 로봇 컨트롤을 진행하는 형태의 상황 추론 능력 향상 모델을 개발 중에 있다. 그럼에도 불구하고, 전통적 제조 산업에 있어서의 첨단 ICT 기술 도입은 디지털트윈 솔루션의 미러링 적용 수준에 여전히 머물러 있으며, 제조 생산현장에서의 인공지능 기술 직접 도입까지는 요원한 측면이 있다. 이는 전통적 제조 산업이 여전히 숙련자의 작업 노하우에 의존하거나, 디지털화된 작업공정 프로세스와 거리가 있기 때문이다. 이러한 상황적 어려움의 해소를 위해 LLM 기술과 같은 생성형 인공지능 기술을 제조현장에서의 작업자와 공정설비 간의 의사소통 핵심수단으로 활용하려는 시도가 늘고 있다.

한편, 제조공장에서의 스마트 개인보호장비(PPE: Personal Protective Equipment) 등 안전한 작업자 생산 환경 제공을 위한 위험 평가시스템 도입 필요성이 증대되고 있다. 「중대재해 처벌 등에 관한 법률」 시행 후 산업재해 사고 예방을 위해 스마트 작업자 안전관리 시스템이 적극적으로 활용되는 추세이지만, 단순 센싱 및 영상기술을 통한 작업행동 관찰 수준에서 벗어나 보다 근본적인 위험관리, 사전예방적인 관리가 될 수 있도록 적극적인 첨단 ICT 기술 활용이 필요하다.

이러한 스마트제조 활용 분야에 있어서 최근 LLM 기술과 산업현장 위험성 평가 기술을 결합하려는 새로운 시도가 이어지고 있다. 다양한 제조현장 안전환경 데이터의 AI 분석 결과를 자연어 기반

시스템과 인간이 자연스럽게 소통하게 함으로써 제조 숙련자의 기술적 거부감을 줄이면서도, 작업자의 안전제조 노하우를 LLM 모델이 재귀적으로 학습하도록 한다. 이를 통해 제조 산업 분야의 각 시스템이 보다 자동화된 의사결정 능력으로 안전한 스마트제조 환경을 보장하도록 할 수 있다.

본고에서는 스마트제조 분야에서의 LLM 기반 안전성 평가 기술 동향을 살펴보고자 하며, 이에 따른 구성은 다음과 같다. II장에서는 기존 제조 분야 위험성 평가 기술에 대해 소개하고, III장과 IV장에서는 거대언어모델 기반 스마트제조 분야 안전성 평가 연구 및 특허 동향을 각각 살펴본다. 마지막으로 V장에서 결론을 제시한다.

II. 제조 분야 위험성 평가 기술 동향

1. 위험성 평가 기술 동향

「산업안전보건법」 및 「중대재해 처벌 등에 관한 법률」 시행 등 정부의 제도적 산업재해 대응 강화를 통해 제조산업 환경에서 안전사고 발생 가능성을 사전에 진단하기 위한 위험성 평가 기술 중요성이 강조되고 있다[5]. 위험성 평가는 산업현장에서의 위험요인 식별을 통해 상해 및 질병의 발생 가능성 및 강도를 추정하는 것으로, 위험요인별 피해를 줄이기 위한 조치를 결정하는 과정을 의미한다. 2009년에 국내 도입된 위험성 평가는 연 1회 각 사업장 단위로 실시하여 그 평가체계 및 과정 등을 기록해야 하고, 산업재해 예방을 위한 핵심수단으로 활용되어, 2023년 이후로 대기업부터 소규모 사업장까지 단계적으로 의무화될 계획이다.

이를 위해 정부는 2023년 5월 위험성 평가 고시 개정을 통해 위험성 평가 방법 및 절차를 대폭 개선하였다. 기존 시행해오던 위험성 평가 방법이 법제도의 불완전 정비, 복잡하고 어렵다는 인식 등으

표 1 빈도·강도법을 적용한 위험성 평가 결과서 예시

작업 공정명: 접착제 제조		위험성평가						평가일시: 2023-02-10			관련근거 선택사항	
세 부 작 업 명	유해위험요인 파악		현재의 안전보건조치	현재위험성			위험성 감소대책	개 선 후 위 험 성	개 선 예 정 일	개 선 완 료 일		담 당 자
	위 험 분 류	위 험 발 생 상 황 및 결 과		가 능 성 빈 도	중 대 성 강 도	위 험 성						
원 자 재 보 관	기 계 적 요 인	원자재 창고 출입구에 적재물이 쌓여있어 지게차 운행 중 보행 중인 근로자와 충돌할 위험	1. 창고 출입구에 지게차 통행시 경보음 발생	4	4	16	1. 창고 출입구 주변 적재물 이동하여 시야확보 2. 출입구에 반사경 설치 3. 지게차와 근로자 이동 동선 구분	8	'23 년도 1 분기	'23. 04. 02	김원료	규칙 제11조 작업장의 출입구 제22조 (통로의 설치)
원 료 투 입	화 학 (물 질) 적 요 인	원료투입 시 반응기 원료투입구로 화학 물질 증기 (톨루엔 등)가 작업장으로 확산되어 작업자가 노출되어 직업병 발생 위험	1. 작업자 보호구 (방독마스크) 지급 및 착용 2. 반응기 원료 투입구에 국소배기 장치 설치 및 사용	3	1	3	-	-	-	-	-	규칙 제442조 (관리대상 유해물질과 관계되는 설비) 제450조 (호흡용 보호구의 지급 등)
배 합	기 계 적 요 인	리본믹서 투입구 (1.2m*0.6m)로 포대형태(20kg)의 원료를투입할 때 균형을 잃고 리본믹서 내부로 근로자가 추락할 위험		4	2	8	1. 원료투입구의 크기를 조정 (0.4m·0.4m) 2. 투입구에 메쉬 형태 망 설치	2	'23. 03. 24	'23. 03. 20	김원료	규칙 제43조 (개구부 등의 방호 조치)
반 응 기	전 기 적 요 인	반응기에 상부 원료 투입구에서 인화성액체 (유기용제) 투입 중 낙차로 인한 정전기 발 생으로 화재/ 폭발 위험	1. 대전방지용 복장 및 도구 사용 - 대전방지용 작업복 및 작업화, 작업장 바닥 도전성 조치 2. 반응기 및 배관 본딩 접지	3	4	12	1. 덩파이프 설치 등 원료투입 방법 개선	8	'23. 02. 16	'23. 02. 15	이공무	규칙 제325조 (정전기로 인한 화재 폭발 등 방지)
유 지 / 보 수	기 계 적 요 인	압력용기 상부에 이동식 사다리를 걸쳐놓고 안전밸브 테스트 시 균형 상실로 인한 추락 위험	1. 2인 1조 작업 실시 2. 이동식사다리 아웃트리거 사용	2	2	4	1. 난간이 설치된 이동식비계 또는 말비계 구매·사용	2	'23. 02. 28	'23. 03. 02	이공무	규칙 제42조 (추락의 방지)

출처 Reprinted from 안전보건공단, "중·소규모 사업장을 위한 쉽고 간편한 위험성평가 방법 안내서(안)," 2023. 3. 공공누리 4유형

로 인하여 현장에서 제대로 작동하지 않는 한계 때
문이다. 표 1과 같은 기존의 빈도·강도 계량적 산

출 방법에 더해 중소기업에서 손쉽게 위험성 평가
를 진행할 수 있도록 하기 위하여 체크리스트법,

OPS(One Point Sheet), 위험수준 3단계(저·중·고) 판단법 등 간편한 방법도 함께 제시하면서 평가방법을 다양화하였다. 평가시기도 기존 최초·수시·정기평가 체계에 더해 상시평가도 신설하고, 근로자 참여도 확대함과 동시에 평가결과의 공유를 통한 확산 노력 규정도 신설하였다[6].

다만, 개정된 위험성 평가 기술은 실효성 있는 위험성 평가를 어떻게 실행할 것인가에 대한 연구에 집중되어 있는 형편으로써 AI 기술 등을 활용하여 산업군별 실태 진단을 통한 자동화된 계량 분석 결과 도출 등의 문제 접근은 여전히 더딘 상태이다. 위험성 평가를 위한 사업장 작업표준, 작업절차 정보, 기계·기구, 설비 등의 사양서, 물질안전보건자료(MSDS) 등의 유해·위험요인에 관한 정보, 위험성의 수준과 그 수준을 판단하는 기준, 허용 가능한 위험성의 수준, 기계·기구, 설비 등의 공정 흐름과 작업 주변의 환경에 관한 정보, 작업환경 측정결과, 근로자 건강진단결과에 관한 정보 등의 지표를 개량하기 위해서는 전문가적인 식견이 필요하나, 모든 사업장에서 위험성 평가 전문가를 고용하여 관련 기준을 정하기는 현실적으로 어렵다. 이에 최근 널리 활용되고 있는 AI, LLM 기술 등을 적극적으로 활용하여 사업장 내 위험성 평가를 자동화, 간소화하는 방안이 필요하다.

2. 인공지능 기반 안전보건 기술 동향

유럽 산업안전보건청(EU-OSHA)은 2021년 ‘AI가 산업안전보건에 미치는 영향’에 대한 정책보고서를 발표한 바 있다[7,8]. 이 보고서에는 AI가 산업제조 현장에 직접적으로 적용되면서 대규모 센싱데이터 취득을 통한 빅데이터 분석을 통해 기존의 제조 공정 방식을 획기적으로 변화시키는 잠재력을 갖게 되었다고 진단하고 있다. 협동로봇, 스마트보호구,

챗봇, 인사관리 등 다방면에 걸쳐 AI가 활용되면서 점점 더 복잡해지는 작업공정 및 의사결정을 자동화 혹은 반자동화하는 방식으로 다양한 형태의 작업보조에 활용될 수 있다는 점을 강조하고 있다. 특히, AI가 작업자 안전보건 개선에 기여하면서 직장 내 위험요소 감소, 건강 이상징후 판독, 피로 조기경보 등 과학적인 사업장 위험성 평가 및 안전보건 점검 등의 활동에 확대 적용될 측면을 논하고 있다. 또한, 영국의 산업안전보건협회는 올바른 위험성 평가 실시를 위한 12가지 방법을 발표한 바 있다[9]. 이 12가지 방법은 위험성 평가자의 자격수준, 폭넓은 평가자료 활용, 객관적인 용어사용, 평가결과 인텍싱, 그리고 무엇보다 위험 주요 요소에 대한 모니터링 및 개선방안 마련 등을 말한다. 본고의 III장에서는 이러한 기준을 적용하는 데 있어 스마트제조에서의 LLM 기반 위험성 평가 기술 활용 가능성에 대해 고찰하고자 한다.

최근 국내외적으로도 산업재해 예방을 위한 위험성 평가에 있어서 인공지능을 적극 활용하는 사례가 늘고 있다. 영국 보건안전청은 감독대상 사업장에서의 다양한 정보를 병합·추론할 수 있는 위험성 기반 도구인 ‘Find-IT’을 통해 유사업종 및 사업장에서 일어난 안전보건 관련 이슈정보에 대한 전문가 피드백 및 평가 관점을 더욱 정교화하여 자기규율 예방체계를 확립 중에 있다[10]. 유럽 산업안전보건네트워크(EUROSHNET)는 2022년 AI와 직장 내 안전보건 컨퍼런스를 개최하여, AI 솔루션 도입이 작업자 건강과 안전에 미치는 영향을 세밀히 분석하고, 관련 표준화 및 인증 문제 등을 다룬바 있다. 우리나라는 2024년 4월 개최된 ‘AI 안전보건 컨퍼런스’에서 자기규율적 예방체계를 강조하면서 중대재해 예방을 위해 각 사업자가 스스로 위해·위험요인을 파악하고 개선대책을 수립하여, 작업자 위해요인을 사전에 예방하도록 하기 위한 정책적

지원을 강조한 바 있다.

산업 분야에서는 대표적으로 롯데건설이 작업자 경험에 의존함으로써 평가 위험요인 누락 등의 한계를 갖는 기존 위험성 평가를 보다 효율적으로 체계화하고, 건설 현장에서의 안전사고를 선제적으로 대응하고자 모든 건설현장에서의 AI기반 위험성 평가 분석을 진행하는 솔루션을 제시하였다[11]. 이 솔루션은 위험성 평가 지원 및 작업 표준 매뉴얼 분석을 통한 작업별 맞춤형 위험성 평가를 추천하고 오류 및 적정성 검토를 지원하는 등의 기능을 제공하고 있다. SK C&C는 제조특화 AI 산업안전 플랫폼 ‘아이팩츠 SHE(Safety · Health · Environment)’를 출시하였다[12]. 이 플랫폼은 재해사고 및 아차사고를 대비한 사고관리, 중대산업사고 예방을 위한 공정 안전관리, 화학물질 배출 목록 자료 및 규제 정보 사전검토를 위한 화학물질관리, 대기·수질 및 폐기물 등을 관리하는 환경관리, 작업환경 측정을 통한 보건관리, 법규 및 안전정보관리 등으로 구성된다. 작업자는 ‘아이팩츠 SHE’를 통해 현장 위험성 평가 및 작업안전 평가서 작성 등에 대한 정보를 제공받을 수 있으며, AI 기술을 활용하여 비정형 데이터 분석을 통해 사업자 내 발생 가능한 사고를 사전 경고해주는 ‘통합방재’ 기능도 함께 제공한다.

III. 거대언어모델 기반 스마트제조 분야 안전성 평가 연구 동향

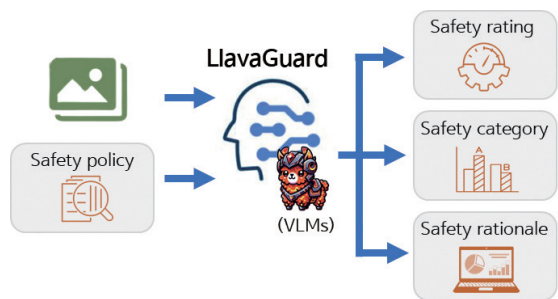
1. Knowledge Sharing in Manufacturing

제조업에서의 지식공유 지원 시스템에 관한 본 연구[13]는 LLM 모델을 활용한 제조 지원 시스템 설계와 성능평가를 다루고 있다. 공장운영자가 문서와 전문가의 지식을 효율적으로 활용할 수 있도록 설계된 이 시스템은 정보 검색 및 문제 해결을 신속하게 지원한다. 최근 논의되고 있는 인터스트리

얼 5.0은 인간 중심의 제조를 강조하며, 인간의 창의성과 문제 해결 능력을 기계와 결합하여 생산성을 향상시키는 것을 목표로 한다. 다만, 제조 환경에서 생성되는 방대한 지식을 효과적으로 관리하고 활용하는 것은 여전히 어려운 과제이기 때문에 LLM을 도구로 하여 복잡한 정보를 해석·요약 및 검색하는 데 활용한다. 이 연구에서는 매뉴얼, 안전 프로토콜, 품질 보증 등이 포함된 공장 문서와 작업자들이 작성한 문제 분석 보고서를 활용하여 운영자의 질문에 답변하는 LLM 기반 시스템을 개발하였다. LLM 모델의 정확성, 완전성, 환각 발생 여부를 기준으로 시스템을 평가하였으며, GPT-4를 기준으로 사실성에서 97.5점, 완전성에서 95점, 환각 발생률은 0으로 평가되었다.

2. LlavaGuard

LlavaGuard[14]은 시각 데이터의 안전성을 평가하기 위한 비전 언어 모델(VLM: Vision-Language Models) 기반의 프레임워크이다. 그림 1에서 보이는 바와 같이, 이 모델은 고품질의 시각 데이터셋을 수집하고 주석처리하여, VLM을 튜닝, 다양한 안전 카테고리에 대한 포괄적인 평가를 제공하며,



출처 Reproduced from S. K. Freire et al., "Knowledge sharing in manufacturing using LLM-powered tools: user study and model benchmarking," *Frontiers Artif. Intell.*, vol. 7, 2024. CC BY.

그림 1 LlavaGuard: VLM 기반 안전성 평가 기술 예시

안전 위험을 문맥 인식적으로 평가한다. 이 모델은 LLaVA[15] 모델을 베이스로 구성되었으며, 응답을 통해 시각 데이터의 안전 등급, 위반된 안전 카테고리, 관련한 상세 설명이 제공된다. LLaVA 모델은 고성능 비전-언어 모델로, 텍스트와 이미지 간 복잡한 상호작용을 학습하여, 이미지 기반 질의응답, 이미지 캡션 생성, 텍스트 기반 이미지 생성 등 다양한 멀티모달 작업을 수행하기 위한 것이다. LlavaGuard 모델은 LLaVA 모델을 정교히 튜닝하여 다양한 시나리오에서의 문맥 인식 안전성 평가를 수행하기 위한 프레임워크로써 안전성 평가 시험을 위해 다양한 실험이 수행되었으며, 대표적으로 ImageNet 데이터셋에 대한 검증을 진행하였다. ImageNet의 1.3백만 개 이미지 중 16,640개(약 1.29%)가 안전 기준을 위반한 것으로 평가하였고, StableDiffusion-v1.5 모델을 사용한 생성 모델 평가에서도 탁월한 성능을 보이면서, 다양한 안전성 평가 시나리오에서 높은 정확도와 신뢰성을 제공함을 보여주었다.

3. AutoRepo

AutoRepo[16]는 무인 차량과 멀티모달 LLM 모델을 기반으로 건설현장에서의 일반적 위험과 상태에 대한 진단보고서를 자동생성해주는 프레임워크이다. 무인 차량은 건설 현장의 구조물, 장비 상태, 작업 진행 상황 등을 검사하며, 멀티모달 LLM은 이를 분석하여 상세한 검사 보고서를 작성한다. 무인 차량이 건설현장 내의 구조물 상태, 장비 상태 및 배치, 작업진행 상황 등의 정보를 수집하면, 레이저스캐닝 및 이미지 기반 기술을 통해 현장의 3D 모델을 생성한다. A* 알고리즘을 사용하여 최적 검사 경로를 계획한 후, 취득된 건설 특화데이터를 기반으로 LLM 모델을 튜닝한다. 최종적으로 튜닝된 LLM을 사용하여 진단보고서를 자동으로 생성한다. 멀

티모달 LLM 모델은 건설 현장의 구조물 이미지를 분석하여 균열, 침하, 변형 등 손상 여부를 식별하고, 건설 현장에 배치된 장비의 위치와 상태를 모니터링하며, 작업현장의 이미지를 분석하여 공사의 진척도를 확인하고, 작업자들의 안전 장비 착용 여부와 안전 규정 준수 여부를 평가한다. 이를 통해 AutoRepo 프레임워크는 작업현장에서의 각종 진단 모니터링 속도를 향상시키고, 인력 및 자원 낭비를 최소화하는 등의 성과를 보였다.

4. 기타 연구 동향

제조산업의 디지털 전환으로 인한 작업 환경, 도구 및 조건의 변화가 작업자에게 미치는 영향을 분석하고, 안전한 디지털 변환을 위해 고려해야 할 주요 위험요소 분석하는 연구[17]도 진행 중이다. 제조산업의 디지털화로 인해 초래될 새로운 위험요소를 적층 제조 시의 화학적 위험, 자동유도차량(AGV: Automated Guided Vehicle)의 기계적 불안전성, 전자기간섭, 열위험, 충돌위험, AR/VR 사용 시 작업자의 근육·시각적 피로 증가, 외골격 장치 사용 시의 전기적·생물학적 위험 등 8가지로 분류하고, 안전한 디지털 전환을 위해 이러한 위험요소를 적절히 식별하고 관리하는 것이 중요하다고 보았다. 각 분류상의 위험요소는 시스템 오류 및 기계 오작동으로 인한 위험, 네트워크 장애 및 해킹 위험, AI/LLM 모델 오류 및 오작동 위험, 장비 사용 중 혼란 및 부주의로 인한 물리적 위험, 개인정보 및 보안위험 등이 존재한다. 또한, 식별된 위험요소를 바탕으로 제조조직이 효과적으로 위험을 평가하고 관리할 수 있도록 돕는 종합적인 위험관리 매트릭스를 제시하고 있다.

노르웨이 University of Science and Technology의 DiSCo 프로젝트[18]는 AI에 기반한 건설현장에서

의 안전성 향상 방식을 제안하고 있다. 이 연구는 작업안전분석(JSA: Job Safety Analysis) 결과에 대한 품질 평가 방법, 잠재적 위험요소에 대한 식별 방법, 식별된 위험요소에 대한 예방 조치 제안 등을 제시하면서 LSTM과 T5[19] 모델 등을 활용하였다. T5와 같은 생성적 AI 모델이 기본적인 예방 조치를 제안하는 데 어느 정도의 유용성을 보였으나, 인간 전문가의 제안보다는 구체성이 부족하다고 설명하고 있다.

한편으로, 한국전자통신연구원은 전력설비 유지보수 작업자의 작업안전성 평가를 위한 멀티모달 LLM 기반 위험성 평가 프레임워크를 선보인 바 있다(그림 2 참고)[20]. 이 도구는 한국산업안전보건공단의 위험성 평가 시스템을 통한 주요 설비별 유해·위험요인 체크리스트와 위험 상황별로 추론된 생성 이미지를 서로 간 매칭시킴으로써 생성형 LLM 모델을 통해 작업 당사자의 현재 상황을 유추하고, 유해·위험요인을 진단하는 등의 기법으로 위험성 평가를 진행한다. 이때, 생성형 LLM 모델은 주어진 작업현장 영상을 분석하여 주요 객체에 대한 식별, 객체 주변 상황 분석, 체크리스트와의 비교를 통한 위험수준 종합진단, G-val 기법 기반 진단 품질평가 등의 다양한 기능을 담당한다. 한국전자통신연구원은 그림 3의 본 작업안전성 평가시험 도구를 확대 적용하여, 다양한 산업분야에 걸친 위험성 평가 진단도구로 활용할 전망이다.

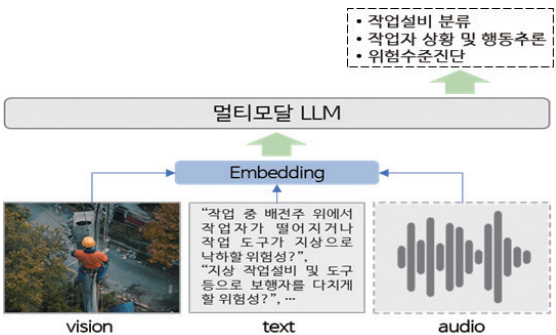


그림 2 멀티모달 LLM기반 위험성 평가 프레임워크



그림 3 LLM 기반 작업안전성 평가시험 도구

Ⅳ. 거대언어모델 기반 스마트제조 안전 서비스 기술 특허 동향

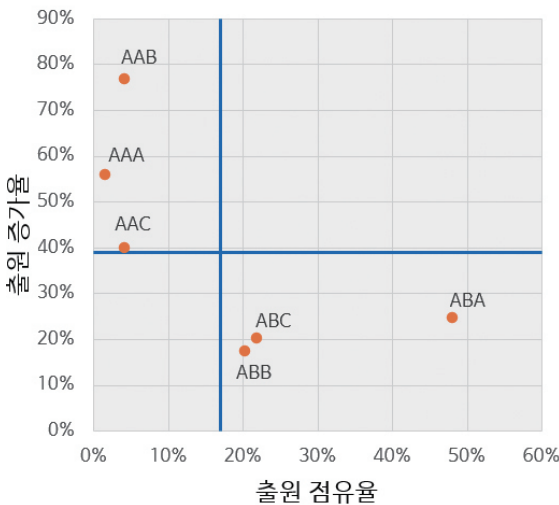
인공지능 기술을 활용한 산업안전 관련 특허는 2010년 후반부터 본격적으로 출원되기 시작하여, 2020년 이후로 급격하게 증가하고 있다. 주로, 센서 혹은 웨어러블 장치, 이미지 장치 등에서 발생하는 데이터 기반 특허가 많은 비중을 차지하고, LLM 등 텍스트 기반의 산업안전 관련 특허는 이제 성장기 시작되고 있는 중이다. 국내외 특허 출원 현황을

표 2 인공지능 기반 산업안전 특허 출원 건수 현황

중분류	소분류	유효특허 건수				
		KR	US	JP	EP	합계
텍스트 기반 산업안전 분야 (AA)	생성형 언어모델 기반 산업안전(AAA)	2	9	3	3	17
	자연어처리 모델 기반 산업안전(AAB)	5	10	3	3	21
	텍스트 포함 멀티모달 기반 산업안전(AAC)	9	9	4	4	26
	합계	16	28	10	10	64
비 텍스트 기반 산업안전 분야 (AB)	이미지 데이터 기반 산업안전(ABA)	87	69	14	20	190
	센서 데이터 기반 산업안전(ABB)	41	63	11	13	128
	텍스트 비포함 멀티모달 기반 산업안전(ABC)	44	42	7	9	102
	합계	172	174	32	42	420
합계		188	202	42	52	484

표 2를 통해 살펴보면, 한국과 미국이 특히 출원을 주도하고 있으며, 일본과 유럽은 출원 건수가 비교적 적은 것을 확인할 수 있다[21]. 이는 국가별 인공지능 분야 출원 건수와도 깊은 관련이 있다. 다만, 한국의 경우 센서 데이터 등을 활용한 비텍스트 기반의 특허가 대부분이고, 언어모델 기반의 산업안전 기술 출원은 아직 적은 수준이기 때문에 향후 기술발전의 증추가 될 생성형 언어모델을 활용한 산업안전 기술 출원이 요구되고 있는 상황이다. 주요 출원인을 기준으로 보았을 때도 3M, HoneyWell, SafeAI 등 미국 기업이 대부분을 차지하고 있어, 한국은 아직 특허 출원 주체가 파편화되어 있음을 확인할 수 있다. 조사대상 유효특허 484건 중 상위 10곳 출원인의 출원은 총 103건으로, 전체 출원 건수의 약 21.3%를 차지하고 있어, 주요 출원인 비중이 상대적으로 작다는 점에서 다양한 출원 주체가 특허 생태계에 참여하고 있다고 해석된다. 연구 주제별로 살펴보면 대부분의 출원이 기업에 의해서 이루어졌음을 확인할 수 있었다.

그림 4의 산업안전 특허 출원 핫트렌드 분석결



출처 Reproduced from 국제특허법률사무소 베리타스, "산업안전 진단평가를 지원하는 생성형 인공지능 기술 특허동향조사," 2024. 9.

그림 4 산업안전 특허 출원 핫트렌드 분석

과에 따르면, 자연어 처리 모델 기반 산업안전기술(AAB) 분야가 최근 출원 증가율이 가장 높고, 다음으로 생성형 언어모델 기반 산업안전기술(AAA)이 뒤따르고 있다. 이는 OpenAI가 GPT-3를 공개한 이후, 거대언어모델에 대한 관심이 본격적으로 증가했기 때문으로 판단된다.

V. 결론

본고에서는 스마트제조 분야 대규모 언어모델 기반 안전성 평가 기술 동향에 대해 살펴보았다. 산업안전 및 중대재해 예방을 위해 위험성 평가 기술의 중요성이 강조되고 있으며, 위험성 평가 방법을 간소화하고, AI 및 LLM 기술을 활용한 자동화 방안이 제시되고 있다. AI 기반 기술은 산업 현장에서 작업자 안전을 개선하며, 영국과 유럽에서는 이를 활용한 다양한 안전보건 도구가 개발 중이다. 국내 기업들은 AI 솔루션을 통해 위험성 평가를 효율화하고 있으며, LLM 모델을 이용한 공장 운영 지식 공유 시스템이 연구 중이다. LlavaGuard, AutoRepo, DiSCo 프로젝트와 같이 다양한 AI 모델 기반 안전성 평가 사례들이 이미 나타나고 있다. AI 기반 산업안전 관련 특허는 2020년 이후로 본격적으로 증가하면서, 최근 자연어 처리 및 생성형 언어모델 기반 산업안전기술 특허의 출원 증가율이 높아지고 있는 중이다. 한국은 센서 중심 특허가 많고, LLM 기반 특허 출원은 아직 부족한 상황이다.

우리나라는 영국·독일·일본 등 주요 선진국과 달리 위험성 평가 개념이 여전히 구체적이지 않고, 평가 시 전문가 참여를 통한 보다 실효성 있는 대응이 제대로 이루어지지 않고 있다는 문제가 있다. 이에, 본고에서 제시한 대규모 언어모델 학습 기반 위험성 평가 기술의 선도적 연구개발을 통해 보다 명확한 안전평가 기준 및 구체적 근거에 바탕하여 사

전 모의 평가 및 위험성 예비 진단 등에 효과적으로 활용 가능한 산업안전 솔루션이 개발될 수 있을 것으로 기대된다.

용어해설

스마트제조 AI, 빅데이터, IoT 등의 기술을 활용하여 제조업을 지능화 및 자동화하여 제조과정을 더욱 안전하고 효율적으로 만드는 방법

안전보건환경관리 산업재해로부터 인명과 재산을 보호하기 위해 유해·위험요인을 진단·예방함으로써 작업자가 안전하고 쾌적한 환경에서 일할 수 있도록 관리하는 것

위험성 평가 유해·위험요인을 진단하고 해당 유해·위험요인에 의한 부상 또는 질병의 발생 가능성과 중대성을 추정·결정하고 감소 대책을 수립하여 실행하는 일련의 과정

체크리스트법 위험성 평가대상에 대해 미리 준비한 세부적 목록을 사용하여 위험성 평가를 진행하는 방법

빈도·강도법 위험성의 빈도(가능성)와 강도(중대성)를 곱셈, 덧셈, 행렬 등의 방법으로 조합하여 위험성의 크기(수준)를 산출해 보고, 이 위험성의 크기가 허용 가능한 수준인지 여부를 살펴보는 방법

핵심요인기술(OPS)법 단계적으로 핵심 질문에 답변하는 방법으로 간략하게 위험성 평가를 실시하는 방법

약어 정리

AGV	Automated Guided Vehicle
GPT	Generative Pre-trained Transformer
JSA	Job Safety Analysis
LLM	Large Language Model
MES	Manufacturing Execution System
MSDS	Material Safety Data Sheet
OPS	One Point Sheet
PPE	Personal Protective Equipment
RT	Robotics Transformer
SHE	Safety·Health·Environment
VLA	Vision Language Action
VLM	Vision Language Models

참고문헌

- [1] A. Brohan et al., "Rt-1: Robotics transformer for real-world control at scale," arXiv preprint, 2023. doi: 10.48550/arXiv.2212.06817
- [2] A. Brohan et al., "Rt-2: Vision-language-action models

transfer web knowledge to robotic control," arXiv preprint, 2023. doi: 10.48550/arXiv.2307.15818

- [3] A. Padalkar et al., "Open x-embodiment: Robotic learning datasets and rt-x models," arXiv preprint, 2023. doi: 10.48550/arXiv.2310.08864
- [4] Y. Ma et al., "A Survey on Vision-Language-Action Models for Embodied AI," arXiv preprint, 2024. doi: 10.48550/arXiv.2405.14093
- [5] 박천수, "일자리 안전과 보건을 위한 위험성평가 실시 요인 연구: 제조업과 서비스업을 중심으로," 보건사회연구, 제43권 제4호, 2023, pp. 158-178.
- [6] 안전보건공단, "중·소규모 사업장을 위한 쉽고 간편한 위험성평가 방법 안내서(안)," 2023. 3.
- [7] European Agency for Safety and Health at Work, "ICT & Digitalisation," <https://osha.europa.eu/en/emerging-risks/developments-ict-and-digitalisation-work>
- [8] 안전보건공단 국제협력센터, "국제 안전보건 동향," vol. 488, 2021.
- [9] 안전보건공단 국제협력센터, "국제 안전보건 동향," vol. 486, 2021.
- [10] 안전보건공단 국제협력센터, "국제산업안전보건동향," no. 1, 2023.
- [11] 김덕수, "롯데건설, '위험성평가 AI' 개발로 선제적 안전 관리 구축," 한국건설신문, 2022. 9. 21. <http://www.conslope.co.kr/news/articleView.html?idxno=75354>
- [12] 장세민, "SK C&C, 제조 특화 AI 산업안전 플랫폼 '아이팩츠 SHE' 출시," AIT타임스, 2024. 4. 23. <https://www.aitimes.com/news/articleView.html?idxno=159038>
- [13] S.K. Freire et al., "Knowledge sharing in manufacturing using LLM-powered tools: user study and model benchmarking," Frontiers Artif. Intell., vol. 7, 2024. doi: 10.3389/frai.2024.1293084
- [14] L. Helff et al., "LLavaGuard: VLM-based Safeguards for Vision Dataset Curation and Safety Assessment," arXiv preprint, 2024. doi: 10.48550/arXiv.2406.05113
- [15] H. Liu et al., "Visual instruction tuning," Adv. Neural Inform. Process. Syst., vol. 36, 2024.
- [16] H. Pu et al., "AutoRepo: A general framework for multimodal LLM-based automated construction reporting," Expert Syst. Applicat., vol. 255, 2024. doi: 10.1016/j.eswa.2024.124601
- [17] F. Costantino et al., "New and emerging hazards for health and safety within digitalized manufacturing systems," Sustainability, vol. 13, no. 19, 2021. doi: 10.3390/su131910948
- [18] D.K. Kvale, "Deep Learning in Construction Safety: Quality Assessment, Hazard Identification, and Preventive Measure Proposals in Job Safety Analysis," Master's thesis, Norwegian University of Science and

- Technology, 2023.
- [19] C. Raffel et al., "Exploring the limits of transfer learning with a unified text-to-text transformer," J. Mach. Learn. Res. vol. 21, no. 140, 2020, pp. 1-67.
 - [20] 김낙우 외, "멀티모달 LLM 기반 전력설비 유지보수 작업안전성 평가 기술," 대한전기학회 전기물성·응용부학회 추계학술대회, 114, 2024.
 - [21] 국제특허법률사무소 베리타스, "산업안전 진단평가를 지원하는 생성형 인공지능 기술 특허동향조사," 2024. 9.