

## 토픽모델링 기반의 특허 분석을 통한 스마트 안전관리 기술 트렌드 예측

홍정윤\*<sup>1)</sup> • 남희경\*\*<sup>2)</sup> • 한고은\*\*\*<sup>3)</sup>

### 초록

산업현장에서 발생하는 안전사고의 유형과 양상이 다양해지고 복잡해짐에 따라, 높은 수준의 관리 체계를 구축하기 위한 산업안전 관련 기술의 관심이 높아지고 있다. 4차 산업혁명에 따른 산업현장의 디지털화로 다양한 스마트 안전관리 기술이 개발되고 있지만, 기술적·제도적·교육적 투자에 앞서 안전관리와 관련된 기술을 인지하고 그 발전 방향을 확인하는 데에는 어려움이 존재한다. 이에 본 연구에서는 스마트 안전관리 기술의 트렌드를 분석한다. 스마트 안전관리 기술에 관련된 특허 데이터를 수집하고 머신러닝 기반의 토픽모델링 기법인 BERTopic을 적용하여 부상기술과 유망기술을 도출한다. 이후, GTM(Generative Topographic Mapping)을 적용하여 공백기술을 도출한다. 본 연구에서 제시한 연구의 결과가 향후 정부와 기업의 산업안전 관리 시스템 구축 및 기술 개발과 관련된 정책 수립, 표준 개발, 연구개발 전략 수립 등에 활용될 것으로 기대한다.

주요어 : 산업안전, 특허 분석, 기술 예측, 머신러닝, 토픽모델링

### 1. 서 론

최근 산업현장에서 발생하는 재해의 유형과 양상이 다양해지고 복잡해짐에 따라 안전사고로 인해 막대한 경제적 손실이 발생하고 있다.<sup>(1)</sup> 정부와 산업안전 부처는 이러한 재해를 예방하기 위하여 제도적 방안을 마련하고 관련 기술 개발 지원에 노력을 기울이고 있다.<sup>(2,3,4)</sup> 특히, 4차 산업혁명에 따른 산업현장의 디지털화로 현장에 대한 가시성이 향상되고 있으며, 이를 통해 위험 요인의 파악,<sup>(5)</sup> 안전사고의 사전 감지<sup>(6)</sup> 등 안전사고를 예방하고 관리할 수 있는 스마트 안전관리 기술

개발이 가능해졌다.<sup>(7)</sup>

안전관리 기술은 작업자의 위험 행동을 관찰하는 등 안전 관제를 목적으로 하는 기술이 대부분이며, 이외에도 안전 장비 및 설비, 안전 관리업무 효율화, 직원 교육 프로그램 개발 등의 목적으로 개발되었다.<sup>(8)</sup> 최근에는 AI(Artificial Intelligence), IoT(Internet of Things) 등의 ICT(Information & Communications Technology) 기술을 접목한 스마트 안전관리 기술의 개발이 활발히 이루어지고 있다. 이현수 외(2009)는 위치추적기술을 이용하여 BIM(Building Information Modeling) 기반의 건설현장 안전관리 시스템을 개발

1) 교신저자: (31116) 충청남도 천안시 동남구 단대로 119, 단국대학교 산업공학과, 석사과정.

E-mail: jyoons333@dankook.ac.kr

2) (31116) 충청남도 천안시 동남구 단대로 119, 단국대학교 경영공학과, 학사과정.

3) (31116) 충청남도 천안시 동남구 단대로 119, 단국대학교 경영공학과, 학사과정.

하였다.<sup>(9)</sup> 서귀빈 외(2019)는 스마트 안전모와 BLE(Bluetooth Low Energy) 비콘을 적용한 건설현장 안전관리 시스템을 설계하여 건설현장의 안전사고를 예방하고자 하였으며, 전소연 외(2020)는 딥러닝 기반의 영상 분석 알고리즘을 통해 실시간으로 작업자의 안전관리가 가능한 시스템을 개발하였다.<sup>(10,11)</sup>

<sup>1)</sup> 또한, 이슬 외(2022)는 AI와 IoT 기술을 바탕으로 자동화 기반의 산업현장 안전관리 시스템을 제안하였다.<sup>(12)</sup> 이처럼, 다양한 스마트 기술을 적용한 안전관리 기술이 존재한다.

각 기술은 정보통신기술과 같은 타 분야 기술과의 융합 및 산업과의 긴밀한 상호작용을 통해 발전하고 있으며, 이에 대한 국가별·산업별 대응 전략 수립의 필요성이 높아지고 있다.

이러한 기술적인 발전과 별개로, 많은 기업이 산업안전에 대한 중요성을 인식하고 있음에도 불구하고 현실적인 제약으로 인해 높은 수준의 관리 체계를 구축하는 데 어려움을 겪고 있다. 또한, 체계를 구축하기 위해 기술적·제도적·교육적인 투자에 앞서 안전관리와 관련된 기술에 대한 인지 그리고 그 발전 방향을 확인하는 데 어려움을 겪고 있다. 따라서, 본 연구에서는 스마트 안전관리와 관련된 기술의 트렌드를 분석하고자 한다.

기술의 트렌드를 분석하는 방법에는 학술 논문, 리서치 보고서 등의 문헌 조사, 전문가 패널 구성을 통한 델파이 기법, 기술 관련 키워드에 대한 데이터 분석 등이 존재한다. 본 연구에서는 특히 데이터에 대한 조사와 분석을 수행하고자 한다. 특히 데이터에는 발명의 명칭, 발명의 내용, 배경기술, 기술 분야, 기술 분류 코드 등의 기술에 대한 구체적인 정보를 포함하고 있기 때문에 기술의 진보 수준, 기술 생태계 이해, 산업 표준화 추세 파악과 같이 다각적인 시각에서 기술을 분석할 수 있다.<sup>(13,14)</sup> 따라서 본 연구에서는 스마트 안전관리 기술과 관련된 특허 데이터

를 수집하고 머신러닝 기반의 토픽모델링 기법인 BERTopic를 적용하여 핵심기술을 제시한다. 이후 기계학습 기반의 GTM(Generative Topographic Mapping) 기법을 통해 스마트 안전관리에 대한 기술 맵을 생성하고 부상기술, 유망기술 그리고 공백기술을 도출한다. 마지막으로, 도출한 결과를 바탕으로 산업현장의 안전사고 저감을 위한 스마트 안전관리 기술 분야의 방향성을 제시하고자 한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 제 2장에서는 국내 산업현장의 안전사고 발생 현황 및 기술 개발 현황에 대해 조사한다. 제 3장에서는 연구 방법론을 설명하며, 제 4장에서는 연구 결과를 해석한다. 마지막으로 제 5장에서는 연구의 결론 및 시사점을 서술한다.

## 2. 현황 조사

### 2.1. 국내 산업현장 안전사고 현황

2013년부터 2023년까지의 국내 산업현장의 안전사고 현황은 <그림 1>과 같다.



<그림 1 국내 산업현장 안전사고 현황><sup>(15)</sup>

최근까지 경제 및 기술의 발전, 정책적 노력, 안전 의식의 향상으로 10년간 사고사망만인율을 0.71%에서 0.39%로 감축하였다.<sup>(15)</sup>

<sup>5)</sup> 그러나 한국의 산업현장 안전사고 규모는 여전히 경제적 수준을 훨씬 상회한다. 2023

년 사고사망자 수는 812명, 사고사망만인율은 0.39%로 영국의 1970년대, 독일과 일본의 1990년대 수준인 것으로 나타났다. 2021년 1월 산업안전법 전면 개정과 2022년 1월 중대재해법의 시행으로 처벌을 강화하였으나, 10년째 사고사망만인율이 0.4%~0.5%대 수준에서 정체 되어있다.<sup>(16)</sup>

## 2.2. 스마트 안전관리 관련 기술 개발 현황

최근 산업현장의 안전관리를 강화하기 위해 다양한 스마트 기술을 적용한 연구개발이 활발하게 이루어지고 있다.

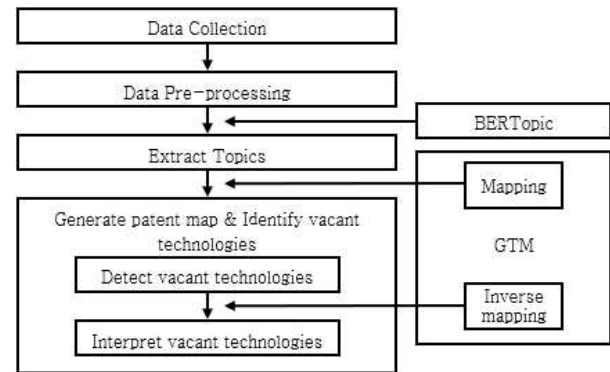
박정인(2024)은 AI 영상 분석을 통해 유해한 요인들의 위험성 수준을 평가하는 시스템을 설계하여, 안전성 확보에 기여하였다.<sup>(17)</sup> 김시욱 외(2024)는 BIM을 기반으로 언어 모델 인공지능을 접목한 안전관리 플랫폼을 도입하였다. 건설사고 예측을 위해, 안전사고 빅데이터를 학습시켜 BIM에 맵핑하는 알고리즘을 개발함으로써, 안전관리자의 업무 자동화를 지원하였다.<sup>(18)</sup> 조계춘 외(2024)는 공동구의 안전성과 관리 효율성 향상을 위해 디지털 트윈과 지능형 CCTV를 포함한 스마트 기술을 도입하였다. 이 기술을 통해 관리의 편의성을 높이고, 공동구의 안정적인 운영에 기여하였다.<sup>(19)</sup> 전지혜 외(2022)는 인공지능 영상 분석 기술을 적용하여 현장의 시설물을 식별하고, 모바일 기기를 활용한 시설 점검 관리 디지털 트윈 솔루션을 도입하였다. 이 기술은 현장 점검의 효율성과 정확성을 향상시켰다.<sup>(20)</sup> 또한 산업통상자원부는 2021년 전기안전관리법 개정을 추진하여 ICT와 IoT를 활용한 원격점검장치를 도입하였다. 이 장치를 통해 과전압, 과전류 누전 등 전기안전 데이터를 수집 및 분석하여, 전기재해 위험성이 높은 산업현장에 원격점검 인프라를 구축하였다.<sup>(21)</sup>

이처럼 스마트 기술을 활용한 안전관리 기술 개발이 지속적으로 이루어지고 있다. 그러나, 산업체에서는 산업재해 예방을 위한

지출에 대해 투자가 아닌 손실의 비용으로 인식하는 경우가 대다수이기 때문에 산업현장에 실제로 적용되는 기술의 수가 제한적이다.<sup>(22,23)</sup> 이는 산업현장의 사고율이 큰 폭으로 감소하지 못하는 이유 중 하나이다. 따라서 안전관리 분야에서 발전 가능성이 있는 기술을 선별하고, 이를 기반으로 한 연구개발 전략 수립이 필요하다.

## 3. 연구 방법론

### 3.1. 연구 프레임워크



<그림 2 연구 프레임워크>

본 연구는 그림 2와 같이 진행된다. 먼저, 스마트 안전관리 기술과 관련된 특허 데이터를 수집하고 전처리를 수행한다. 이후 머신러닝 기반의 토픽모델링 기법인 BERTopic을 활용하여 스마트 안전관리 기술의 핵심기술을 추출한다. 마지막으로, GTM 기법을 통해 스마트 안전관리와 관련한 기술 맵을 생성한 후, 공백기술을 도출하고 공백기술의 의미를 파악한다.

### 3.2. 데이터 수집

KIPRIS를 통해 수집한 2006년 5월 1일부터 2024년 5월 31일까지 한국에서 등록된 특허를 분석 대상으로 한다. 선행 연구 논문 및 R&D 보고서를 바탕으로 스마트 안전관리 기술과 관련된 키워드를 추출하여 <표 1>과 같이 검색식을 도출하였다.

### <표 1 특허 검색식>

검색식
((스마트+산업)*(안전+보건)*(설비+건설+제조) *(디지털+머신러닝+딥러닝+IoT+AI+신경망 +디지털)*기술)

검색된 Raw data의 발명의 명칭, 요약, 대표 청구항에 대하여 전수조사를 실시하였고, 이 과정에는 빈칸 열 제거, 중복 데이터 제거, 불필요한 데이터 제거 등이 포함된다. 이를 통해 총 623건의 유효특허를 수집하였다.

### 3.3. 데이터 전처리

데이터 추출 후, 비정형 데이터를 분석하기 위해서 데이터 전처리가 필수적이다. 데이터 전처리는 인간의 자연어와 비정제 텍스트를 처리하는 과정이다. 데이터 전처리 단계에서 불용어 제거를 통해 데이터, 기술, 안전, 산업, 정보 등과 같이 포괄적인 의미를 내포하거나, 스마트 안전관리 기술과 관련 없는 단어를 제거하였다. 그리고 표제어 추출 과정을 통해 ‘적용하였다’, ‘적용한다’, ‘적용하고’와 같은 표현을 ‘적용하다’로 변환하였다. 마지막으로 단어를 기준으로 토큰화를 수행하였다.

### 3.4. 토픽모델링

토픽모델링은 전체 문서 집합에 대해 의미 있는 정보를 파악하기 위해 사용되는 텍스트 마이닝 기법이다. 최근에는 토픽모델링 기법에 머신러닝 개념을 도입하여, 신경망 학습을 바탕으로 구축된 언어 모델도 등장하였다. Grootendorst (2022)가 제안한 BERTopic은 딥러닝 사전학습 언어 모델인 BERT (Bidirectional Encoder Representations from Transformers)를 통해 임베딩 표현을 생성함으로써 문장 또는 텍스트 전체에 대한 문맥 정보를 반영할 수 있어, 보다 좋은 토픽모델링 성능을 기대할 수 있다.<sup>(24)</sup>

본 연구에서는 한국에 등록된 특허에 대해 텍스트 마이닝을 진행하기 때문에 한글 텍스

트 분석이 가능한 KoBERT를 사용한다. KoBERT는 SKT Brain에서 공개한 한국어 자연어 처리 모델이다.<sup>(25)</sup> 이는 많은 시간을 들여 사전모델을 학습시키지 않아도, 다양한 튜닝 방법을 적용하여 좋은 성능을 얻을 수 있다는 강점을 보임에 따라, KoBERT를 활용한 연구가 활발히 진행되고 있다.<sup>(26)</sup>

BERTopic은 다음의 과정을 통해 진행된다. 먼저, KoBERT를 통해 문서의 임베딩 벡터를 추출한 뒤, UMAP(Uniform Manifold Approximation and Projection) 알고리즘으로 차원을 축소한다. 이후, 저차원 공간에 임베딩 된 데이터를 투영시킨 다음, HDBSCAN(Hierarchical Density-Based Spatial Clustering of Applications with Noise)을 이용하여 유사한 문서끼리 묶어주는 클러스터링을 진행한다. 마지막으로, 클래스 기반의 TF-IDF(class-based Term Frequency-Inverse Document Frequency, c-TF-IDF)를 통해서 클러스터링 된 각 클래스를 설명하는 주요 토픽을 추출한다. c-TF-IDF는 클래스를 서로 구분하고, 하나의 클래스 내 모든 문서를 단일 문서로 간주하여 단어의 중요도를 분석한다. c-TF-IDF는 아래의 식 (1)을 통해 진행된다.<sup>(27)</sup>

$$W_{x,c} = tf_{x,c} \times \log\left(1 + \frac{A}{f_x}\right) \quad (1)$$

<표 2 c-TF-IDF의 기호 표시>

기호	의미
$tf_{x,c}$	클래스 $c$ 의 단어 $x$ 의 빈도
$f_x$	모든 클래스에 걸친 단어 $x$ 의 빈도
$A$	클래스 당 평균 단어 수

### 3.5. GTM

기존의 SOM(Self-Organizing Map), PCA (Principal Component Analysis) 기반의 공백기술 추출 기법은 공백 영역의 식별에 있어 주로 전문가의 주관적 판단에 의존하였다. 또한, 기술 맵의 공백 영역에 대한 기술

해석을 위해 많은 시간과 노력이 소요되고, 연구자에 따라 상이한 결과가 도출될 수 있다.<sup>(28)</sup> 따라서 본 연구에서는 공백기술을 식별하기 위해 GTM 기법을 사용한다.<sup>(29)</sup>

GTM은 다차원 데이터 공간을 저차원 잠재 공간에 맵핑(Mapping)하거나, 역맵핑(Inverse Mapping)하는 확률적 접근법을 사용한다. GTM의 원리는 식 (2)와 같이 잠재 변수를 평균( $x$ ), 가중치 행렬( $W$ ), 잡음( $\beta$ ) 측면에서 추정된 확률 분포를 기반으로 데이터 공간으로 변환한다. 여기서  $x$ 는 잠재 공간( $R^L$ )에서 차원이 축소된 데이터 벡터를 나타내고,  $t$ 는 데이터 공간( $R^D$ )에서 관측된 데이터 벡터를 나타낸다. 변환된 잠재 데이터  $y(x)$ 와 관측 데이터  $t$  사이의 거리 측면에서의 근접성을 식별하기 위해 식 (2)와 같이 가우시안 혼합 분포를 사용한다. 데이터 세트에서 데이터  $t$ 가  $y(x)$ 에 가까우면 확률  $p(t|x)$ 가 증가한다.

$$\begin{aligned} p(t|x, W, \beta) \\ = N(y(x, W), \beta) \\ = \left(\frac{-\beta}{2\pi}\right)^{LSUP-D/2} \exp\left[-\frac{\beta}{2} \sum_d (t_d - y_d(x, W))^2\right] \end{aligned} \quad (2)$$

<표 3 GTM의 확률 밀도 함수>

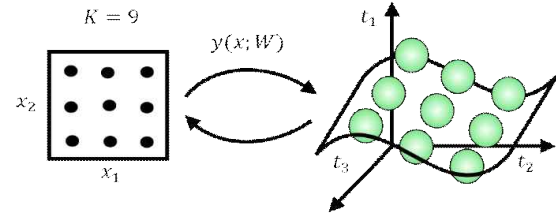
기호	의미
$y$	변환 함수
$x$	잠재 변수
$t$	데이터 변수
$D$	$t$ 의 차원
$y(x, W)$	$x$ 를 데이터 집합으로 변환
$B$	이상치

아래 식 (3)은 t-space에서 데이터의 분포는 총 확률의 법칙에 따라 x-distribution에 대한 적분으로 표현된다.

$$p(t|W, \beta) = \int p(t|x, W, \beta)p(x)dx \quad (3)$$

그러나  $p(t)$ 는 연속적인 분포이기 때문에 추론하기가 어렵다. 이를 해결하기 위해 이산형  $p(t|x)$ 에 델타 함수를 적용한다. 이 방

법은 SOM 개념을 포함하는데, 여기서 GTM 그리드를 구축하면 미리 정의된 정규 GTM 그리드의 이산형 노드에 데이터를 배치할 수 있다. 아래 <그림 3>은 잠재 공간과 데이터 공간 모두에서 3×3 그리드의 예를 보여준다.



<그림 3 가우시안 밀도 함수의 중심을 형성하는 데이터 공간>

델타 함수를 적용한 최종 확률 분포는 아래의 식 (4)에 따라 변환된다.

$$p(t|W, \beta) = \frac{1}{K} \sum p(t|x_K, W, \beta) \quad (4)$$

<표 4 데이터 공간의 분포 함수>

기호	의미
$K$	격자 포인트의 수
$x_K$	잠재 공간의 격자점

또한, 가중치 행렬과 잡음을 포함한 모수들은 EM(Expectation-Maximization) 알고리즘을 사용하여 추정된다. GTM을 데이터 집합에 적용하면, 아래의 식 (5)와 같이 Bayes의 정리를 사용하여 잠재 포인트에 의해 생성된 데이터 포인트의 확률을 추정한다. 이로써 관측된 데이터 포인트를 잠재 변수에 할당한다.

$$p(x_k|t_n, W, \beta) = \frac{p(t_n|x_k, W, \beta)p(x_k)}{\sum_{k \in LSUP} p(t_n|x_k, W, \beta)p(x_k)} \quad (5)$$

마지막으로 관찰된 데이터는 잠재 공간으로 맵핑하여 공백기술을 확인할 수 있다. 공백기술의 의미를 파악하기 위하여 식 (6)을 통해 역맵핑을 수행한다.

$$y(x, W) = \varphi(x)W \quad (6)$$

<표 5 GTM의 역맵핑>

기호	의미
$\varphi(x)$	잠재 변수 M개의 고정 기저 함수
$W$	$D \times M$ 행렬

공백 영역의 좌표를 초기에 맵핑할 때 사용한 기저 함수의 입력값을 받아 변환 공식을 적용하면 해당 영역을 고차원으로 표현하는 벡터를 얻을 수 있다. 공백기술의 키워드를 바탕으로 원본 데이터의 차원으로 투영하여 각 공백 영역의 기술을 정의함으로써, 실제 기술을 바탕으로 공백기술의 의미를 해석한다.

#### 4. 연구 결과

본 연구에서는 특허의 청구항을 바탕으로 스마트 안전관리 기술에 대한 분석을 진행하였다. 4.1에서는 BERTopic을 사용한 토픽모델링 결과를 설명한다. 토픽모델링을 통해 부상기술(Emerging technology)과 유망기술(Promising technology)을 추출하였다. 부상기술이란 현재 존재하는 기술 중, 개발 초기 단계인 기술로서, 지속적인 연구개발과 투자를 통해 향후 유망기술로 발전할 가능성이 있다. 또한 부상기술은 산업에서 아직 널리 적용되지 않았으나, 기술적 가능성과 잠재력을 지니고 있다. 유망기술이란 실질적인 응용과 상용화 단계에 이르러, 산업에서 점차 사용되고 있다. 유망기술은 부상기술보다 높은 유망성을 지녀, 지속적인 연구개발과 투자를 통해 더욱 발전할 가능성이 크다. 또한, 높은 기술적 안정성과 시장 수용 가능성을 기대할 수 있다.<sup>(30)</sup> 4.2에서는 GTM의 결과를 설명한다. 본 연구에서는 토픽모델링 결과를 바탕으로 GTM을 통해 기술 맵을 생성하여 공백기술(Vacant technology)을 도출하였다. 공백기술은 특정 분야에서 현재 개발되지 않은 기술로서, 기술혁신의 기회를 제공하며 적극적인 연구개발과 투자를 통해 새로운 기술적 돌파구를 마련할 수 있는 중

요한 기점이 될 수 있다.

#### 4.1. BERTopic

토픽모델링은 텍스트 데이터의 임베딩을 통한 벡터화를 수행한 후, UMAP을 통해 차원을 축소하는 단계로 이루어진다. 본 연구에서 UMAP의 하이퍼 파라미터는 <표 6>과 같이 설정하였다.

<표 6 UMAP의 하이퍼 파라미터>

하이퍼 파라미터	설정 값
n_neighbors	800
n_components	10
min_dist	0
metric	'cosine'

차원 축소 이후 HDBSCAN을 통해 데이터 클러스터링을 수행하였다. HDBSCAN의 하이퍼 파라미터는 <표 7>과 같이 설정하였다.

<표 7 HDBSCAN의 하이퍼 파라미터>

하이퍼 파라미터	설정 값
min_cluster_size	20
metric	'euclidean'
cluster_selection_method	'eom'
prediction_data	True

데이터 클러스터링의 결과에 c-TF-IDF를 적용하여 각 클래스 내 단어의 빈도를 통한 중요도를 계산한다. 그 후, BERTopic의 초기화와 훈련을 진행하였다. BERTopic의 하이퍼 파라미터 값은 <표 8>과 같다.

<표 8 BERTopic의 하이퍼 파라미터>

하이퍼 파라미터	설정 값
language	'korean'
calculate_probabilities	True
nr_topics	'auto'
top_n_words	9
min_topic_size	70
vectorizer_model	vectorizer_model
embedding_model	kobert_model
umap_model	umap_model
hdbscan_model	hdbscan_model
ctfidf_model	ctfidf_model

<표 9>는 각 토픽에서 높은 빈도를 차지하는 단어들과 각 토픽의 주제명을 포함하는 BERTopic의 결과를 나타낸다. BERTopic은 핵심이 되는 토픽들(Topic 0, 1, 2)을 추출

하고 해당 토픽에 속하지 않는 데이터를 Topic -1로 분류한다. 본 연구에서는 Topic -1을 부상기술, Topic 0, 1, 2를 유망기술로 정의한다.

도출한 4개의 토픽은 스마트 안전관리 기술과 관련된 유망기술 및 부상기술을 의미한다. Topic -1은 ‘인공지능을 활용한 안전사고 모니터링 시스템’, Topic 0은 ‘스마트 웨어러블 디바이스’, Topic 1은 ‘가상환경을 활용한 안전교육 시스템’, Topic 2는 ‘센서 기반의 안전사고 감지 기술’로 정의하였다.

#### 4.1.1. 부상기술

Topic -1과 관련하여, 과거에는 안전 상태를 예측할 때 단순 추론엔진을 이용한 경우가 많다. 이는 정해진 규칙을 기반으로 상태를 예측한다.<sup>(31)</sup> 산업현장은 돌발적 위험 상황을 조기에 식별하거나 예측을 통해 판단함으로써 신속한 의사결정과 실시간성 대응을 요구한다. 그러나 인공지능 기술을 현장에 적용 시 신속성, 신뢰성 그리고 안전성 측면에서의 한계가 있다.<sup>(32)</sup> 인공지능은 표본 데이터를 추출하여 모델을 학습하므로, 실제 현장에 적용 시, 학습 데이터 외의 새로운 상황에 대한 대처가 어렵다. 또한, 인공지능 기술은 잘못된 판단을 내릴 가능성을 내포한다. 그 예로, 인공지능 기술을 탑재한 열 감지 시스템인 YOLO 모델은 불이 사용되어야 하는 작업 과정을 화재가 발생한 것으로 오인하였다.<sup>(33)</sup> 더불어, 기존의 인공지능 기반의

안전기술은 사고의 예방보다 사고 이후 사고자를 발견하는 등의 사후 처리에 관련된 기술로서 많이 존재한다.

인공지능을 활용한 안전사고 모니터링 시스템에 대한 수요가 많으며, 꾸준히 증가하는 추세다. 하지만, 이러한 한계의 존재로 쉬이 상용화되지 못하고 있으며 추가적인 연구 개발이 필요하다.

#### 4.1.2. 유망기술

Topic 0은 스마트 웨어러블 기기를 통해 작업자의 안전 상태와 작업환경을 실시간으로 관제할 수 있는 기술이다. 과거 스마트 웨어러블 기기는 단순히 핸드프리 기능을 제공하는 블루투스나 와이파이 기반 연결 장치에 불과했다.<sup>(34)</sup> 하지만, 최근 생체 신호 감지 기반의 센서가 탑재된 스마트 헬멧, 스마트 워치 등의 등장으로 작업자의 안전 상태를 실시간으로 파악할 수 있는 기술이 발전하고 있다. 이러한 스마트 웨어러블 기기는 센서를 통해 작업자의 생체 신호를 측정하고, 작업자의 상태를 감지하여 이상 감지 시 알람을 제공한다. 중대재해처벌법 시행 이후 안전관리의 중요성이 강조됨에 따라, HHS는 생체 신호 기반의 스마트 안전모를 개발하였다. 이는 심박수, 뇌파와 같은 작업자의 생체 신호를 자체 데이터 서버를 통해 분석하여 위험한 상황을 사전에 감지할 수 있다. 또한, 관리자가 작업자의 위치 확인이 가능하여 안전사고를 방지할 수 있다. 향후 생체 신호

<표 9 토픽모델링 결과>

No.	Keyword	Topic
Topic -1	모니터링, 무선, 관제, 지능, 정보, 예측, 네트워크, 카메라, 인공	인공지능을 활용한 안전사고 모니터링 시스템
Topic 0	무선, 실시간, 관제, 예측, 센싱, 경고, 평가, 안전모, 생체	스마트 웨어러블 디바이스
Topic 1	모니터링, 무선, 실시간, 정보, 네트워크, 카메라, 가상, 감지기, 교육	가상환경을 활용한 안전교육 시스템
Topic 2	실시간, 원격, 관제, 예측, 카메라, 인공, 빅데이터, 로봇, 레이저	센서 기반의 안전사고 감지 기술



데이터를 기반으로 데이터가 축적되면 산업 안전 분야뿐만 아니라 다양한 분야로의 적용이 가능하여 기술적 유망성이 높다.<sup>(35)</sup>

Topic 1은 기존의 강의식 안전교육과 달리, 가상현실을 활용하여 실제 산업현장에서 발생 가능한 상황에 대처하는 것을 직접 체험함으로써 학습 효율을 높일 수 있다. 또한, 기존의 현장실습에 비해 고가 장비를 설치할 비용과 넓은 공간이 필요하지 않기 때문에 교육의 공간적·비용적 효율을 높일 수 있다.<sup>(36)</sup> 이와 더불어 가상현실 기반의 교육 자료는 쉽게 업데이트가 가능하여 최신 사례에 대한 교육이 가능하다는 점에서 높은 유망성을 가진 분야로 판단된다. 현재 포스코, 현대중공업에서는 가상현실을 활용한 안전교육 시스템을 개발하여 사내 교육 프로그램으로 활용 중이며, 안전에 대한 경각심을 제고하였다.<sup>(37,38)</sup> 향후 가상환경을 활용한 안전교육 시스템은 공간정보시스템, 스캐닝 기술, 그리고 증강현실 및 혼합현실 기술과의 융합이 이루어질 것으로 기대된다. 이를 통해 가상의 산업현장을 효과적·효율적으로 생성하고, 상대적으로 작은 교육 환경을 구축하면서 높은 몰입감을 주는 가상 안전교육 시스템이 개발될 것으로 예측된다.<sup>(39)</sup>

Topic 2는 레이저, 카메라, 로봇 등에 탑재된 센서를 활용하여 산업현장의 안전사고를 감지하고 원격으로 제어하는 기술이다. 산업현장의 데이터를 실시간으로 수집하고 분석함으로써 사고를 예측 및 예방할 수 있다. 센서를 활용할 시, 이전에는 진단 전문가가 직접 방문하여 관리하던 방법에 비해 비용·시간·효율의 측면에서 수준 높은 안전관리를 수행할 수 있다.<sup>(40)</sup> 현재 센서를 활용한 안전관리 기술은 LG U+, MDS 인텔리전스, 그리고 포스코 DX 등의 많은 기업을 통해 개발 및 적용되고 있다. 추후 센서는 감지기능을 뛰어넘어 신호처리, 전원회로, 메모리, 통신 기능까지 탑재한 스마트 원칩(one-chip) 센서로 발전할 것이다. 또한, 인공지능

기술을 포함하여 센서를 감지하고 위험 등의 상황을 판단하는 작업까지 수행<sup>(41)</sup>하게 될 것으로 예측되어 유망성이 높은 기술이다.

## 4.2. GTM

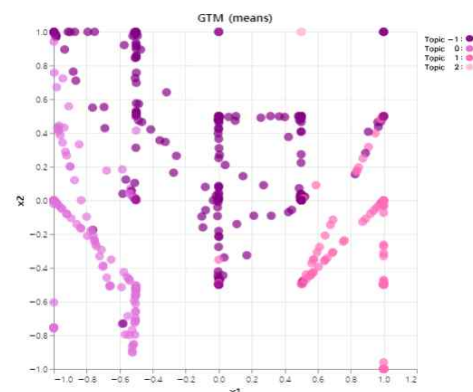
GTM은 데이터의 고차원 구조를 이해하기 쉽도록 저차원 공간으로 투영이 가능한 확률 기반 모델이다. 본 연구에서는 GTM의 하이퍼 파라미터를 <표 10>과 같이 설정하였다.

<표 10 GTM의 하이퍼 파라미터>

하이퍼 파라미터	설정 값
k	5
gtm_model의 model	responsibilities
gtm_means의 model	means
gtm_modes의 model	modes

### 4.2.1. 기술 맵 생성

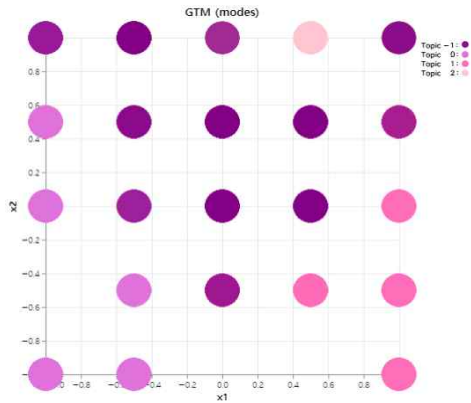
GTM 기반 기술 맵은 BERTopic을 통해 도출된 각 토픽에 포함될 확률을 바탕으로 한 2차원의 형태이다. GTM으로 도출된 기술 맵의 결과는 <그림 4>, <그림 5>와 같다.



<그림 4 기술 맵 (평균값)>

<그림 4>는 데이터를 저차원으로 표현할 때, 각 데이터의 평균 위치를 계산하여 나타낸다. 이는 특히 데이터를 잠재 공간상의 위치로 맵핑했을 때, 공백 영역을 명확하게 식별하지 못한다는 어려움이 있다.



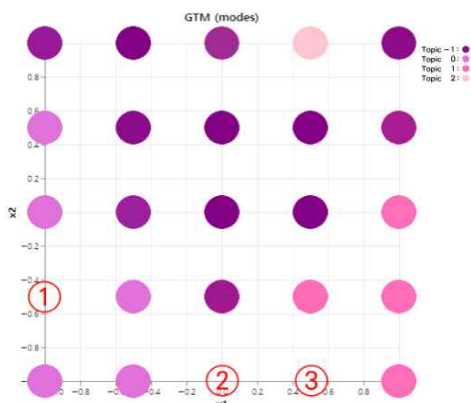


<그림 5 기술 맵 (최빈값)>

<그림 5>는 데이터의 저차원 투영에서 각 데이터의 최빈 위치를 계산하여 맵핑한다. 해당 기술 맵에서는 각 특허 데이터가 잠재 그리드에 적절히 맵핑되어 공백 영역을 보다 명확하게 표현한다. 따라서 본 연구에서는 최빈값을 이용한 기술 맵을 통해 총 25개의 잠재 포인트 중 3개의 공백 영역을 추출하였다.

#### 4.2.2. 공백기술 도출

공백 영역을 해석하기 위해 역맵핑을 수행한다.



<그림 6 공백기술>

<그림 6>에서 식별한 각 공백 영역을 바탕으로, 공백기술을 식별하여 각 기술이 특정 토픽에 할당될 확률을 <표 10>에 나타내었다.

<표 10 공백기술의 토픽별 할당 비율>

	Topic 0	Topic 1	Topic 2
공백기술 1	1.0057433	0.0040130	0.0053160
공백기술 2	0.3237508	0.5279919	-0.3495736
공백기술 3	0.1141141	0.9618726	-0.6673200

이러한 확률값은 앞서 수행한 BERTopic의 결과로 도출된 확률을 반영한다. 각 토픽에 대해 할당된 확률값이 클수록, 해당 토픽과 관련성이 높음을 나타낸다.

공백 영역을 해석하기 위해 역맵핑 결과를 임계값(>0.5)을 기준으로 이진 변환한다. 그 결과는 <표 11>과 같으며, 공백기술 1은 Topic 0과 공백기술 2와 3은 Topic 1과 연관되어 있다.

<표 11 공백기술의 토픽 할당 결과>

	Topic 0	Topic 1	Topic 2
공백기술 1	1	0	0
공백기술 2	0	1	0
공백기술 3	0	1	0

공백기술 1과 관련하여 Topic 0의 스마트 웨어러블 디바이스는 작업자의 개인정보를 침해하는 문제를 일으킬 수 있다. 따라서 작업자의 개인정보를 비식별화할 수 있는 기술 개발이 함께 이루어져야 하는 단계에 놓여 있다.<sup>(42)</sup> 또한 과거에는 단순히 위험 요인을 파악하고 위험성을 추정하기 위한 센서들이 웨어러블 디바이스에 적용되어 대응형 위험관리(Reactive risk management)에 국한되었다.<sup>(43)</sup> 하지만, 점차 다양한 종류의 센서들이 결합됨에 따라 활용 가능한 데이터의 종류가 많아졌고, 이를 기반으로 한 대비형 위험관리(Proactive risk management)를 구축할 수 있게 되었다. 따라서, 향후 스마트 웨어러블 디바이스는 다양한 센서들과의 결합 및 해당 센서들의 데이터를 활용한 인공지능 기술의 통합이 요구된다.

공백기술 2, 3과 관련하여 Topic 1의 가상현실을 활용한 안전교육 시스템은 기술적인 난이도로 인하여 투자 비용이 높으며 가상현실과 현실 사이의 괴리감이 존재하기 때문에

몰입감과 현존감이 떨어지는 한계를 갖는다.  
<sup>(44)</sup> 특히, 교육 시스템의 목적은 근로자의 안전지식 습득 및 태도 변화를 통해 불안정한 행동을 최소화하는 데 있다. 몰입감이 낮을수록 안전지식 습득 효율이 떨어지기 때문에 기술의 사용성이 줄어들게 된다. 따라서, 가상현실을 구현하기 위한 해상도, 3D 모델링과 같은 그래픽 기술, 음향 기술의 개발이 필요하다. 또한, 가상현실을 사용하는 사용자와 컴퓨터 간의 인터페이스 기술도 중요하다. Head Mounted Display(HMD)를 통해 가상현실로 접속하고 있으나 이는 근로자들의 접근성을 제한하며 멀미, 어지럼증 등의 불편함을 발생시킨다.<sup>(45)</sup> 이를 해결하기 위해 무선 네트워크 기반의 가상환경 접속, 접속 디바이스의 경량화와 같은 휴먼팩터 관점의 기술 개발이 필요하다.

## 5. 결론 및 시사점

최근 4차 산업혁명으로 기술의 급격한 발전과 디지털화가 이루어지면서 산업 분야를 가리지 않고 혁신이 이루어지고 있다. 특히, 산업안전 관리 분야에서는 AI, IoT 등의 ICT를 접목한 스마트 안전관리 기술을 통해 안전사고를 효율적으로 예방하고 관리하려는 노력을 기울이고 있다. 그러나, 대부분의 기업들이 산업안전의 중요성을 인식하고 있음에도 불구하고 안전관리 기술에 대한 이해와 그 발전 방향을 파악하는 데 어려움을 겪고 있다. 해당 문제점을 해결하기 위해 스마트 안전관리 기술의 트렌드를 분석하고, 기술 개발 전략 수립을 위한 방향성을 제시한다.

본 연구에서는 BERTopic 기반의 토픽모델링을 통하여 스마트 안전관리 기술의 부상 기술과 유망기술을 추출하였다. 부상 기술은 ‘인공지능을 활용한 안전사고 모니터링 시스템’이며, 유망기술은 ‘스마트 웨어러블 디바이스’, ‘가상환경을 활용한 안전교육 시스템’, 그리고 ‘센서 기반의 안전사고 감지 기술’인

것을 확인하였다.

이후 GTM을 통해 공백기술을 도출하였다. 기술 맵을 생성하여 3개의 공백 영역을 식별하였고, 앞서 추출된 토픽을 바탕으로 각 공백기술이 ‘스마트 웨어러블 디바이스’와 ‘가상환경을 활용한 안전교육 시스템’에 관련된 기술임을 확인하였다. 아울러, 각 공백기술에 대한 기술 개발 방향성을 제시하였다.

본 연구의 시사점은 다음과 같다. 첫째, 기술 개발 전략 및 투자 계획 수립에 활용 가능하다. 부상기술은 관련 기술에 대한 연구를 강화하여 기술의 가능성을 탐색하고, 실효성을 확인하여 유망기술로의 발전을 견인할 수 있다. 유망기술은 기술 상용화를 위해 투자를 지원함으로써 기술 경쟁력을 향상시킬 수 있다. 공백기술은 혁신의 기회를 포착하여 기술을 선제적으로 개발함으로써 경쟁우위를 확보하고 시장을 선점할 수 있다. 또한, 연구 개발 방향을 수립하는 근거로 활용하여 미래 기술 변화에 대비하고 장기적인 전략 수립을 지원한다. 둘째, 정부 정책 수립에 활용 가능하다. 고용노동부와 안전보건공단은 중소기업장의 사고사망 감축을 위하여 스마트 안전 장비 보조 지원 사업을 진행 중이다. 중소기업기술정보진흥원은 신기술 및 신제품 개발을 위해 기술 개발 지원의 시행계획을 공고하였다.<sup>(46,47)</sup> 행정안전부에서는 재난 안전과 관련된 역량 강화를 위해 재난 안전산업 육성 지원 사업을 추진하고 있다.<sup>(48)</sup>

본 연구에서 제시한 결과를 활용하면, 보다 체계적이고 효과적인 정책 수립이 가능하다. 또한, 정부와 산업안전 부처가 기업이 투자하기 어려운 공백기술에 대해 과감히 투자함으로써 스마트 안전관리를 위한 인프라를 구축하고 인력 양성을 위한 교육 프로그램을 개발하는 등 산업 활성화와 인식 제고에 기여할 것으로 기대된다.

## 참고문헌

- (1) 박희상. (2022). 작업자 안전관리를 위한 스마트팩토리솔루션. 한국통신학회지 (정보와통신), 39(9), 40-44.
- (2) 국가법령정보센터. (2022). 중대재해 처벌 등에 관한 법률. Retrieved from <https://www.law.go.kr/%EB%B2%95%EB%A0%B9/%EC%A4%91%EB%8C%80%EC%9E%AC%ED%95%B4%EC%B2%98%EB%B2%8C%EB%93%B1%EC%97%90%EA%B4%80%ED%95%9C%EB%B2%95%EB%A5%A0>
- (3) 홍성호, & 조재용. (2022). 스마트 안전 기술 동향 분석과 시사점. 서울: 대한건설정책연구원.
- (4) 한국정보통신산업연구원. (2023). 스마트 재난안전기술 정책 동향. Retrieved from <https://www.kici.re.kr/%EC%A0%95%EB%B3%B4%ED%86%B5%EC%8B%A0%EC%82%B0%EC%97%85%EB%8F%99%ED%96%A5/?uid=1380&mod=document&pageid=1>
- (5) 강상승, & 김계경. (2021). 산업 환경 위험 구역 안전 서비스 플랫폼 연구. 대한전기학회 학술대회 논문집, 330-331.
- (6) 엄정호. (2020). 작업장에서의 안전사고 예방을 위한 스마트 안전관리 시스템 설계. 디지털콘텐츠학회논문지, 21(4), 817-823.
- (7) Zangiacomi, A., Pessot, E., Fornasiero, R., Bertetti, M., & Sacco, M. (2020). Moving towards digitalization: a multiple case study in manufacturing. *Production Planning & Control*, 31(2-3), 143-157.
- (8) Li, Y., & Guldenmund, F.W. (2018). Safety management systems: A broad overview of the literature. *Safety science*, 103, 94-123.
- (9) 이현수, 이광표, 박문서, 김현수, & 이사범. (2009). 위치추적기술을 이용한 BIM 기반 건설현장 안전관리 시스템.
- (10) 서귀빈, 민세동, 이승현, & 홍민. (2019). 스마트 안전모와 비콘을 이용한 건설현장 안전관리 시스템 설계 및 구현. 인터넷정보학회논문지, 20(3), 61-68.
- (11) 전소연, 박종화, 윤상병, 김영수, 이용성, & 전지혜. (2020). 딥러닝 기반 영상 분석 알고리즘을 이용한 실시간 작업자 안전관리 시스템 개발. 스마트미디어저널, 9(3), 25-30.
- (12) 이슬, 조소영, 여승연, 이희수, & 김성욱. (2022). AI를 접목한 IoT 기반 산업현장 안전관리 시스템. 한국정보처리학회 학술대회논문집, 29(1), 118-121.
- (13) 고병열, & 노현숙. (2005). 기술-산업 연계구조 및 특허 분석을 통한 미래유망 아이템 발굴. 기술혁신학회지, 8(2), 860-885.
- (14) 임수정, 이유림, 이향이, & 박덕근. (2017). 특허네트워크 분석을 통한 재난안전산업 핵심기술 도출. 2. 한국방재학회 논문집, 17(5), 139-149.
- (15) 고용노동부. (2024). 2023년 12월말 산업재해현황.
- (16) 관계부처 합동. (2022). 중대재해 감축 로드맵.
- (17) 박정인. (2024). AI 영상분석기반 작업장 위험평가시스템 개발. 한국컴퓨터정보학회논문지, 29(1), 151-161.
- (18) Intelligence, P. U. A. (2024). 인공지능을 이용한 웹기반 건축현장 안전관리 플랫폼 개발. 한국전산구조공학회 논문집, 37(2), 77.
- (19) 조계춘, 강석준, 문성모, & 성주현. (2024). 공동구 내 수용시설 및 설비를 위한 스마트 유지관리 기술. 대한토목학회지, 72(1), 18-22.
- (20) 전지혜, 이승현, & 서민재. (2022). 디지털 트윈 기반의 사회기반시설 재난 안전 통합 관리 기술 구축. 한국통신학회지 (정보와통신), 39(6), 26-31.

- (21) 디지털전환기획팀. (2024). 디지털 기반 전기안전관리체계 전환, 한국전기안전공사, 28-29.
- (22) 김용진, 박선영, 이창훈, 안유정, 김영민, & 조교영. (2019). 산업안전보건 실태조사로 본 산업재해 예방투자 및 산재로 인한 지출비용의 효과성 분석. 한국데이터정보과학회지, 30(6), 1299-1307.
- (23) 권귀감, 정우균, 김형중, 전영준, 김영균, 이현수, ... & 안성훈. (2021). 적정 스마트공장: 산업안전 기술로의 적용 가능성 실증. Journal of Appropriate Technology, 7(2), 196-205.
- (24) Grootendorst, M. (2022). BERTopic: Neural topic modeling with a class-based TF-IDF procedure. Retrieved from arXiv preprint arXiv:2203.05794.
- (25) SKT Telecom (2019). github. Retrieved from <https://github.com/SKTBrain/KoBERT>
- (26) Lee, C. H., Lee, Y. J., & Lee, D. H. (2020). A study of fine tuning pre-trained Korean BERT for question answering performance development. Journal of Information Technology Services, 19(5), 83-91.
- (27) Grootendorst, M. (2022). BERTopic: Neural topic modeling with a class-based TF-IDF procedure. Retrieved from arXiv preprint arXiv:2203.05794.
- (28) Son, C., Suh, Y., Lee, Y., & Park, Y. (2010, July). A probabilistic approach to identifying technology vacuum: GTM-based patent map. In PICMET 2010 TECHNOLOGY MANAGEMENT FOR GLOBAL ECONOMIC GROWTH (pp. 1-8). IEEE.
- (29) Son, C., Suh, Y., Jeon, J., & Park, Y. (2012). Development of a GTM-based patent map for identifying patent vacuum s. Expert Systems with Applications, 39(3), 2489-2500.
- (30) Rogers, E. M., Singhal, A., & Quinlan, M. M. (2014). Diffusion of innovations. In An integrated approach to communication theory and research (pp. 432-448). Routledge.
- (31) J.H.Park and B.T.Jang, "A Prediction Method for Workers Safety Accidents at High Risk Workplace," in Proceeding of the Annual conference on the Institute of Electronics and Information Engineers, Busan, pp.1477-1479, 2017.
- (32) 최근경, 강진석, & 노병희. (2019). 혼합현실(MR)-사물인터넷(IoT) 융합 재난대응 인공지능 응용기술. 한국통신학회지 (정보와 통신), 36(5), 31-38.
- (33) 강지훈, 정민경, 박주영, 이원영, & 최은진. (2023). 인공지능(AI) 기술 도입을 위한 정책 및 적용사례와 한계점에 대한 연구. 한국산학기술학회 논문지, 24(9), 341-349.
- (34) 연구개발특구진흥재단. (2021). 산업용 웨어러블 시장. Retrieved from file:///C:/Users/user/Downloads/59.%20%EC%82%B0%EC%97%85%EC%9A%A9%20%EC%9B%A8%EC%96%B4%EB%9F%AC%EB%B8%94%20%EC%8B%9C%EC%9E%A5.pdf
- (35) 이두리. (2024, January 10). HHS, 안전 관리 시스템으로 'CES 2024 혁신상' 받아. 머니투데이.
- (36) 백지민, 함동한, & 이양지. (2016). 산업안전 교육시스템에서의 가상현실의 효과적 활용 방안에 관한 연구. 대한안전경영과학회지, 18(4), 19-30.
- (37) 하인식. (2022, December 19). 포스코, 'VR 안전교육시설' 도입...건설 현장 안전 확보 나서. 한국경제.
- (38) 김보형. (2018, June 4). 현대중공업, 통합관계센터 설치하고 VR 안전교육도. 한국경제.
- (39) 김영범, & 박병하. (2019). VR/AR/MR 가상훈련시스템 기술 동향. 한국통신학회지

(정보와통신), 36(10), 72-78.

(40) 신윤애, & 박종근. (2022). [신성웅 레이컴 대표] IoT 기술이 바뀌놓은 현장 안전 관리 시스템. 포브스 코리아, 110-113.

(41) 김응수. (2023). 4 차산업 혁명에 적용되는 센서 기술 동향. 멀티미디어학회논문지, 26(2), 288-295.

(42) 이율경. (2024). 노동관계에서 알고리즘에 관한 법적 쟁점. 노동법연구, (56), 213-254.

(43) Choe, B. J. (2019). 웨어러블 기술을 활용한 건설현장 안전보건관리. Construction Engineering and Management, 20(4), 30-33.

(44) Li, X., Yi, W., Chi, H. L., Wang, X., & Chan, A. P. (2018). A critical review of virtual and augmented reality (VR/AR) applications in construction safety. Automation in construction, 86, 150-162.

(45) 이지혜. (2019). 가상현실 기반교육 활성화 방안에 관한 연구. 한국디자인문화학회지, 25(1), 357-366.

(46) 중소기업 성공 길잡이 기업마당. (2024). 2024년 스마트 안전장비 지원사업 공고. Retrieved from [https://www.bizinfo.go.kr/web/lay1/bbs/S1T122C128/AS/74/view.do?pblancId=PBLN\\_000000000094156](https://www.bizinfo.go.kr/web/lay1/bbs/S1T122C128/AS/74/view.do?pblancId=PBLN_000000000094156)

(47) 중소벤처기업부. (2024). 2024년 중소기업 기술개발 지원사업 통합공고. Retrieved from file:///C:/Users/user/Downloads/2024%EB%85%84\_%EC%A4%91%EC%86%8C%EA%B8%B0%EC%97%85\_%EA%B8%B0%EC%88%A0%EA%B0%9C%EB%B0%9C\_%EC%A7%80%EC%9B%90%EC%82%AC%EC%97%85\_%ED%86%B5%ED%95%A9\_%EA%B3%B5%EA%B3%A0.pdf

(48) 행정안전부. (2024). 2024년도 재난안전 산업 기술사업화 지원 사업 신규과제 공모. Retrieved from <https://www.mois.go.kr/frt/bbs/type013/commonSelectBoardArticle.do?b>

bsId=BBSMSTR\_0000000000006&nttId=106903#none