

B2B 건설사 대상 비즈니스 모델 논리 근거 및 추가 개발 요소

1. B2B 건설사 납품을 위한 비즈니스 모델 논리 근거

건설 안전 문제와 비용: 건설 산업은 가장 위험한 업종 중 하나로 꼽히며, 실제로 2023년 전체 산업 재해 사망자의 약 20%를 건설업이 차지했습니다 ¹. 건설현장의 사고로 인한 경제적 손실도 막대하여, 부상 및 사망으로 인한 연간 비용이 **115억 달러**(약 15조 원)에 달하는 것으로 추산됩니다 ². 이러한 막대한 인적·물적 손실 때문에 **안전 확보는 건설사의 최우선 과제**가 되었고, 안전장비(PPE) 착용 준수는 특히 중요한 요소입니다. 연구에 따르면 건설 현장에서 발생하는 추락 사고의 **70%가 PPE 미착용과 관련**되어 있으며, PPE를 착용하지 않은 근로자는 그렇지 않은 경우보다 **부상 확률이 3배** 높다고 합니다 ³. PPE를 철저히 착용하도록 하면 추락 사고를 약 **30% 줄일 수 있다**는 분석도 있어 ⁴, **PPE 준수 모니터링이 안전 개선에 직접적으로 기여**함을 알 수 있습니다.

시장 수요와 성장: 이러한 필요로 인해 **스마트 안전 모니터링 시스템**에 대한 **시장 수요는 급증**하고 있습니다. 글로벌 **건설현장 모니터링 시스템 시장 규모는 2023년 약 18.2억 달러에서 2024년 21.1억 달러로 성장**(연간 16% 성장)하였으며 ⁵, 향후 **실시간 데이터 활용, 안전 관리 강화** 등의 요구에 힘입어 2028년에는 38.5억 달러까지 확대될 전망입니다 ⁶. 이처럼 시장이 빠르게 성장하는 이유는, **실시간 모니터링을 통한 안전관리 강화**와 **규제 준수**에 대한 건설업계의 관심이 높아지고 있기 때문입니다. 실제로 2025년 건설 안전 트렌드를 보면, **스마트 헬멧, VR 훈련, 자동화된 안전 모니터링** 같은 기술 혁신이 사고 감소와 교육 효과 향상에 기여하고 있다는 보고가 있습니다 ⁷. 이는 건설사들이 **디지털 안전관리 솔루션** 도입을 적극 검토하고 있음을 보여줍니다.

B2B 납품 타당성: 본 프로젝트의 “**자율 순찰 로봇 기반 안전장비 감지 시스템**”은 이러한 시장 요구에 부합하는 **B2B 솔루션**으로서 가치가 있습니다. 건설사 입장에서는 이 시스템을 도입함으로써 **현장 안전수칙 준수 여부를 24시간 자동으로 점검**하고, **사고를 예방**하며, **관리 비용**(전담 인력 감시 비용 등)을 절감할 수 있습니다. 예를 들어, 글로벌 대형 건설사 **Skanska**는 시애틀의 한 현장에 자율주행 로봇을 도입하여 360도 카메라로 현장을 촬영하고 AI로 **작업자들의 안전 장비 착용 상태나 작업 환경 위험요소**를 자동 점검하는 시범 사업을 진행했습니다 ⁸. 이 로봇들은 사람이 일일이 순찰하며 검수하는 데 들이던 **주당 40시간의 업무를 자동화**하여 인력을 더 생산적인 업무에 투입할 수 있게 했고, 건설사는 **현장 데이터의 실시간 공유와 안전 준수 모니터링**으로 프로젝트 효율과 안전을 동시에 높였습니다 ⁹ ⁸. 또한 AI가 촬영 이미지를 BIM 모델과 비교하여 시공 품질을 검토하고, **작업자가 장갑을 안 썼는지, 사다리를 잘못 사용하고 있는지, 바닥에 덮개 없는 구멍이 있는지 등 OSHA 기준의 수백 가지 안전위반 사항**을 자동 탐지하여 관리자에게 보고했다고 합니다 ⁸ ¹⁰. Skanska 사례는 **건설사가 이러한 자동화 안전 관리 솔루션을 실제 현장에 도입해 효과를 보고 있는 예**로, 우리 시스템의 B2B 비즈니스 모델 가능성을 뒷받침합니다.

또한 규제 측면에서도, 각국의 산업안전 규정은 현장의 PPE 착용 의무를 엄격히 요구하며 미준수 시 벌금을 부과합니다. 예컨대 미국 OSHA 기준 위반 시 **심각한 위반 당 최대 \$16,550(약 2천만 원)**의 과태료를 부과할 수 있고 ¹¹, 국내외 건설사들은 이러한 **법규 준수와 기업 이미지 제고**를 위해서라도 안전 관리에 투자할 유인이 큼니다. 따라서 본 시스템은 **안전사고 예방을 통해 보험료 절감과 공사 지연 감소 등의 경제적 이득**을 제공함과 동시에, **규제 준수 증명 자료(로그 데이터) 확보**를 통해 **법적 리스크 감소**에도 기여할 수 있습니다 ¹² ¹³. 요약하면, “**이중 순찰 로봇 기반 스마트 안전장비 감지 시스템**”은 건설사를 대상으로 **B2B 납품**하기에 충분한 **가치 제안(가치: 안전 강화와 비용 절감)**과 **시장 규모의 뒷받침**, 그리고 **성공 사례**까지 갖추고 있습니다.

2. 관련 참고자료 (IEEE 논문 및 산업 보고서)

학계 연구 동향: 최근 몇 년간 인공지능 기반 PPE 감지에 대한 학술 연구가 활발하며, 우리 프로젝트의 기술적 선택에 대한 근거를 제공하고 있습니다. 2024년 IEEE Access에 게재된 한 연구에서는 **건설 현장 작업자의 PPE 인식**을 위해 개선된 YOLOv5 모델과 새로운 데이터셋을 제시했습니다¹⁴. 이 논문에서 Liu 등(2024)은 YOLOv5에 **Coordinate Attention** 메커니즘을 도입하여 **반사 조끼 등 PPE 탐지 정확도를 크게 높이고 오탐률을 감소** 시켰다고 보고합니다¹⁵. 또한 Ahmed 등은 2단계 R-CNN 기반 방법으로 **PPE 탐지 정밀도 mAP 96%**를 달성하기도 했으며¹⁶, Gallo 등은 **경량화된 YOLOv4-tiny** 모델로 임베디드 디바이스에서 **실시간 PPE 탐지 시스템**을 구현하는 등¹⁷, **경량 실시간 감지**에 대한 연구도 이루어지고 있습니다. 이러한 다수의 연구 결과들은 딥러닝 기반 컴퓨터비전으로 **PPE 착용 여부를 높은 정확도로 식별할 수 있음**을 보여주며, 우리 프로젝트의 **YOLO 기반 비전 시스템** 구성이 타당함을 뒷받침합니다. 특히 센서(RFID 등) 기반 PPE 감지도 연구되었지만, **하드웨어 부착이 번거롭고 범위 제한**이 있어 현재는 **실시간 영상 인식 기법이 널리 채택되는 추세**입니다¹⁸. 이는 **카메라+AI만으로 광범위한 영역의 작업자를 동시 모니터링**할 수 있는 장점 때문이며, 우리 프로젝트의 비전 기반 접근과 부합합니다.

산업 보고 및 동향: 산업계 보고서와 사례들도 **스마트 안전 모니터링 기술의 채택 증가**를 보여줍니다. 앞서 언급했듯, Research & Markets의 산업보고서에 따르면 **실시간 원격 모니터링** 수요로 건설 현장 모니터링 시스템 시장이 고속 성장 중이며^{5 6}, 5G 통신, AI/ML, 클라우드 기술의 발전이 **스마트 건설안전 솔루션의 보편화**를 이끌고 있습니다²⁰. IEEE에서도 2019년에 이미 “스마트 건설 현장은 더 안전해진다”는 취지로, **AI와 IoT 기술을 활용한 건설현장 안전 혁신**을 강조한 바 있습니다. IEEE 기사에 따르면, **고해상도 카메라, 4G/5G 통신망과 AI 비전 알고리즘을 결합하면 원격지 관리자도 실시간으로 작업자들이 헬멧 등 보호장비를 착용했는지 확인 가능**하며, 이를 통해 현장의 안전수칙 미준수를 즉각 파악해 사고 위험을 줄일 수 있다고 합니다²¹. 또한 동일 기사에서 언급하길, **낙하물에 의한 사고**가 중국과 미국 모두 건설사고 주요 원인이데, **AI 기반 헬멧 미착용 감지**와 같은 기술의 도입으로 이러한 사고를 예방하는 효과를 기대할 수 있다고 밝혔습니다^{22 21}.

한편, GeekWire(2024) 기사에서는 앞서 소개한 Skanska 사례를 상세히 다루며, **Nextera사의 Didge라는 자율 로봇 플랫폼**이 현장에서 **촬영한 360도 이미지를 AI로 분석해 작업 진행 상황과 안전 상태를 점검**한다고 전했습니다. 특히 “안전” 모니터링 측면에서 **작업자들의 장갑·안전모 등 보호구 착용 여부, 사다리 사용법, 작업장 조명, 바닥 개구부 상태** 등 수백 가지 **OSHA 안전 기준 항목을 자동 검출**하여 위반 시 **현장 관리자의 대시보드에 바로 경고 표시**를 해주는 기능을 소개하고 있습니다^{8 10}. 이처럼 실제 건설현장에서 **AI로 PPE 착용 준수와 위험요소를 감시**하는 파일럿 적용 사례까지 등장한 것은, 우리 프로젝트의 응용 가능성과 **B2B 시장의 성숙도**를 뒷받침하는 중요한 참고 근거입니다.

마지막으로, **스마트 PPE 및 웨어러블** 분야의 산업 동향도 참고할 만합니다. 일본의 **무라타(Murata)**와 **토다건설**은 헬멧에 부착하는 **센서 디바이스**로 **작업자의 맥박, 활동량, 주위 온도** 등을 실시간 모니터링하는 **웨어러블 안전관리 시스템**을 개발하여 2019년부터 상용화했습니다^{23 24}. 2025년 현재 일본 내 **100여 개 기업에서 10,000개 이상의 헬멧 센서 기기를 사용** 중이며, 이를 도입한 현장에서는 **열사병 사고가 전무**했다는 보고가 있을 정도로 효과가 입증되었습니다²⁵. 이 시스템은 **근로자 헬멧의 센서로 이상 징후(열사병 위험, 낙상 등)를 감지하면 작업자에게 경고음을 울리고 관리자에게 위치와 상태를 즉시 알림**으로써, 고위험 작업자의 조기 발견과 대응을 가능케 했습니다^{26 27}. 이러한 웨어러블 안전 솔루션의 성공 사례는, 우리 프로젝트가 향후 **IoT 웨어러블과 연동한 통합 안전관리 플랫폼**으로 확장될 수 있는 잠재력을 시사합니다.

※ 참고 문헌:

- Liu & Wang (2024), IEEE Access: 건설 작업자 PPE 검출을 위한 향상된 YOLOv5 모델 제안¹⁴
- Ahmed et al. (연도 미상), 기술 보고: R-CNN으로 PPE 검출 mAP 96% 달성¹⁶
- Chen et al. (2023), Sensors: 경량 YOLOv5s 기반 안전모 검출 모델로 파라미터 35% 감축²⁸
- Research&Markets (2024), 시장보고서: 건설현장 모니터링 시스템 시장 규모/성장 전망^{5 6}
- Phil Clark (2025), Claris Blog: 2025년 건설 안전 통계 및 트렌드 (스마트 헬멧, 자동 모니터링 등 언급)

- IEEE Transmitter (2019): AI·IoT를 활용한 건설현장 안전 향상 (“Construction Gets Smarter and Safer”) 21
- Kurt Schlosser (2024), *GeekWire*: 시애틀 Skanska 현장 자율로봇 활용 사례 (PPE 착용/안전위반 자동 감지) 8 10
- Ahmed Al-Bayati et al. (2023), *Journal of Safety Research*: 건설업 PPE 비착용의 위험성 (미착용시 부상 확률 3배 등) 3
- JapanGov (2025): 무라타/Toda의 스마트 헬멧 센서로 열사병·추락 실시간 감지 사례 25 27

3. 추가적으로 개발 가능한 기능 및 주제 (확장 제안)

프로젝트 시나리오를 발전시켜 추가로 고려할 만한 기능 확장 아이디어는 다음과 같습니다.

- **헬멧 미착용 실시간 경고음 알림**: 작업자가 안전모를 미착용한 것이 감지되면 로봇 또는 현장 스피커를 통해 경고음을 즉시 울려주는 기능을 추가할 수 있습니다. 현재 시스템이 시각적으로 관리자 대시보드에 경고를 보내는 것에 더해, 현장에서 직접 청각 경보를 주면 작업자 본인과 주변 동료들이 즉각 인지하고 바로 안전모를 착용하도록 유도할 수 있습니다 29. 예를 들어 ScanFlow사의 자동 PPE 감지 시스템은 위반 발생 시 현장에 경고 사이렌을 울리고, 관리자의 모바일로 즉각 알림을 전송하여 실시간 시정 조치를 가능케 했습니다 29 30. 이러한 실시간 피드백 루프는 안전 규칙 위반을 사고로 이어지기 전에 바로잡는 효과가 있어, 시스템의 실효성을 한층 높이는 기능이 될 것입니다.
- **안전 위반 항목 범위 확대**: 현재 시스템은 안전모, 조끼, 안전화 착용 여부에 초점을 맞추고 있지만, 비전 알고리즘을 확장해 그 외의 안전 수칙 위반도 감지하도록 발전시킬 수 있습니다. 예시: 작업자가 안전벨트를 착용하지 않고 고소 작업을 하는지, 사다리를 위험하게 사용하고 있는지, 작업장에 위험하게 방치된 개구부나 장애물이 있는지, 작업자가 위험구역에 들어갔는지 등을 추가로 인지하는 것입니다. 이미 앞서 언급한 Nextera Robotics 사례에서도 AI가 사다리 사용 부주의, 바닥 구멍 미덮개, 조명 불량 등 다양한 위험요소를 동시에 탐지하여 경고한 바 있습니다 8. 우리 시스템에도 이러한 종합적인 위험 감지 기능을 넣으면, 단일 로봇으로 현장의 종합 안전 감시가 가능해져 제품의 가치가 더욱 올라갈 것입니다. 이를 위해서는 추가적인 객체인식 학습 (예: 사다리, 안전선, 추락 방지망 등) 과 규칙 기반 상황 판단 로직이 필요하며, 관련 연구로 건설현장 위험요소 인식을 위한 컴퓨터비전 분야 논문들도 참고할 수 있습니다 (예: 위험지역 침입 감지, 기계와 인원 간 거리 모니터링 등).
- **스마트 웨어러블 및 IoT 연계**: 자율 로봇의 비전 감지만만 아니라 근로자 개인에게 부착된 스마트 센서와 연동하는 확장을 고려해볼 수 있습니다. 예를 들어 스마트 안전모에 부착된 RFID 태그나 센서를 활용하면, 로봇이 시각적으로 인식하기 어려운 상황에서도 작업자 식별 및 PPE 착용 확인을 보다 정확히 할 수 있습니다 31 18. 더 나아가, 심박수·체온·가속도 센서가 내장된 웨어러블 밴드나 안전모를 사용하면 작업자의 건강 상태나 사고 징후(예: 쓰러짐, 충격)까지 모니터링 가능합니다. 앞서 소개한 일본의 사례처럼, 헬멧 센서로 열사병 위험이나 추락을 감지해 작업자에게 경고 부저를 울리고 관리자에게 즉시 알리는 시스템은 이미 100여 개 기업에서 활용 중이며 효과가 검증되고 있습니다 26 27. 우리 프로젝트도 향후 로봇 비전 시스템 + 웨어러블 센서 네트워크를 통합한다면, 현장 안전을 입체적으로 관리하는 통합 플랫폼으로 발전할 수 있을 것입니다. 이는 단순 PPE “착용 여부” 감시를 넘어, 근로자의 실시간 생체 정보와 주변 환경 데이터까지 수집하여 응급 상황을 조기에 발견하거나 피로 누적도를 평가하는 등 예방적 안전관리로까지 기능을 확장하는 방향입니다.

以上的 확장 기능들은 IEEE 등의 최신 연구 동향과 산업 사례를 근거로 도출되었으며, 각각 구현 시 우리 시스템의 부가 가치와 차별화를 높여줄 것으로 기대됩니다. 특히 실시간 경고 피드백과 다중 위험요소 감시는 단기적으로 적용해볼 만한 기능이고, 웨어러블 연계는 장기적인 발전 방향으로 고려할 수 있습니다. 이런 기능 확장을 통해 본 프로젝트는 건설사에 더욱 매력적인 종합 안전솔루션(B2B 제품)으로 거듭날 수 있을 것입니다.

참고 자료: 업계 솔루션 사례 – *Scanflow.ai* 블로그 (자동 PPE 감지 및 경고 시스템 사례) ²⁹ ³⁰ ; *GeekWire* 기사 (자율로봇의 다양한 현장 위험요소 감지 사례) ⁸ ; 일본 Murata-Toda 웨어러블 안전모 시스템 (센서 기반 작업자 안전모니터링) ²⁶ ²⁷ .

¹ ² ⁷ ¹¹ 41 Construction Safety Statistics for 2025

<https://www.clarisdesignbuild.com/41-construction-safety-statistics/>

³ ⁴ PPE non-compliance among construction workers: An assessment of contributing factors utilizing fuzzy theory

<https://ltu.edu/wp-content/uploads/2025/02/Journal-for-safety-research.pdf>

⁵ ⁶ ²⁰ Construction Site Monitoring Systems Market Report 2024:

<https://www.globenewswire.com/news-release/2024/10/25/2969350/28124/en/Construction-Site-Monitoring-Systems-Market-Report-2024-Hardware-and-Software-Insights-for-Bridge-Road-Building-Construction-Among-Other-Applications.html>

⁸ ⁹ ¹⁰ AI-backed robots roll through Seattle construction site, speeding build process and improving safety – *GeekWire*

<https://www.geekwire.com/2024/ai-backed-robots-roll-through-seattle-construction-site-speeding-build-process-and-improving-safety/>

¹² ¹³ ²⁹ ³⁰ Enhancing Construction Site Safety with Automated PPE Detection Systems - Scanflow - Smart Scanning and Data Capture Solutions

<https://www.scanflow.ai/enhancing-construction-site-safety-with-automated-ppe-detection-systems/>

¹⁴ ¹⁵ ¹⁶ ¹⁷ ¹⁸ ¹⁹ ²⁸ ³¹ MEAG-YOLO: A Novel Approach for the Accurate Detection of Personal Protective Equipment in Substations

<https://www.mdpi.com/2076-3417/14/11/4766>

²¹ ²² Smart Construction: How Technology is Making it Safer - IEEE Transmitter

<https://transmitter.ieee.org/construction-gets-smarter-and-safer/>

²³ ²⁴ ²⁵ ²⁶ ²⁷ Preventing Workplace Accidents: Helmet Smart Sensors Detect Heat Stress | The Government of Japan - JapanGov -

https://www.japan.go.jp/kizuna/2025/04/preventing_workplace_accidents.html