

# GLOBAL MAESTRO NEWS BRIEFING

## 건설로봇의 개발 현황 및 향후 과제

미래 기술로만 인식되던 로봇기술이 어느새 건설산업의 핵심기술로 자리매김하고 있습니다. 건설현장에서는 업무효율성 및 생산성을 높이기 위해 자율주행로봇, 협동로봇 등 다양한 형태의 건설로봇을 활용하고 있습니다. 이에 본 고에서 건설로봇의 개발 현황과 적용사례에 대해 살펴보겠습니다.

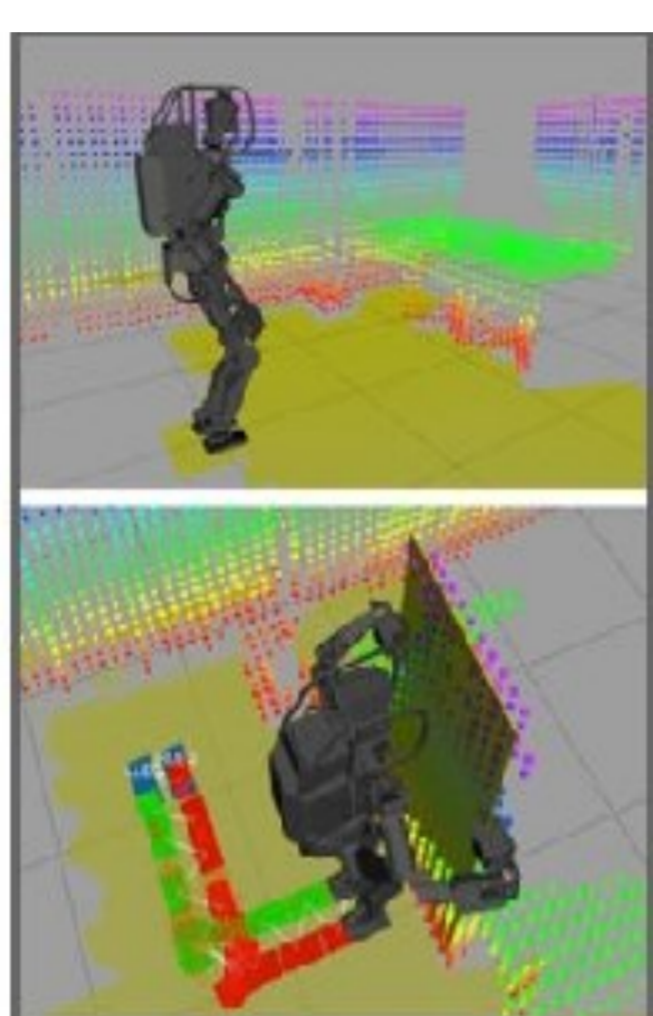
McKinsey Global Institute에 의하면 1997년부터 2017년까지 건설산업의 생산성은 연평균 1% 향상된 것으로 나타났습니다. 이는 제조업 연평균(3.6%)과 전체 산업의 연평균(2.8%)에 비해서 최하위 수준인 것으로 나타났는데, 미국의 Construction Industry Institute는 이에 대한 주요원인으로 '노동집약적 산업' 특성에 따른 '보수적인 신기술 활용'을 지적하였습니다. 최근 들어 산업 전반에 걸쳐 사물인터넷, 협업로봇, AR/VR 등의 기술적용이 활발하게 논의되고 있는 만큼, 건설산업 역시 기존의 고비용-저효율 구조의 극복을 위해 첨단 융복합 기술을 접목하고자 많은 노력을 기울이고 있습니다. 현재 "건설자동화"에 대한 연구가 건설산업의 기술력 확보 및 생산성 향상 등을 목표로 다양하게 진행되고 있는데, 그 중 가장 대표적인 기술이 바로 건설로봇입니다.

과거에는 로봇이 건설현장에서 조적벽을 세우거나 가설비계를 조립하는 등의 모습이 먼 미래의 이야기로 여겨졌지만, 현재는 기술의 진보로 인해 현실이 되고 있습니다. 로봇은 현재 열악한 건설환경에서 근로자를 대신해서 다양한 단순반복 작업이나 노동집약적 업무를 더욱 빠르고 안전하게 수행할 수 있습니다. 건설로봇이 비생산적인 업무나 단순 보조업무를 수행하는 동안 작업자는 높은 난이도의 생산적인 업무에 집중할 수 있는 환경이 조성되고, 이를 통해 현장 내 업무효율성과 생산성이 향상되고 있는 것입니다. 본 고에서는 건설로봇의 개발 현황과 현장적용 사례를 살펴보고, 기술의 고도화를 위한 향후 과제 등에 대해 논의하고자 합니다.

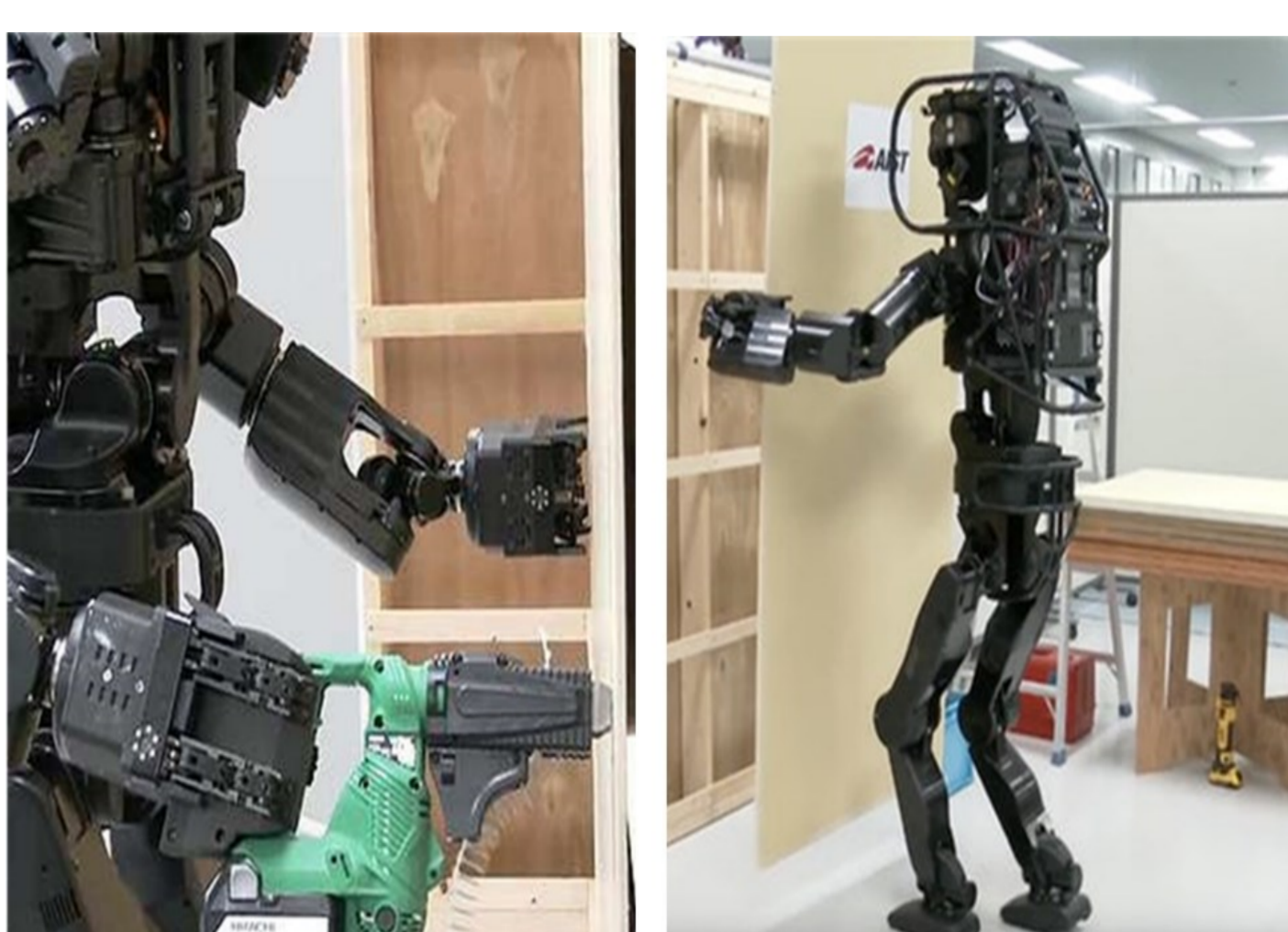
### Drywall Installation Robot (건설벽 시공 로봇)

일본의 산업기술종합연구소(AIST)에서는 건설벽 설치 작업을 수행하는 휴머노이드 (Humanoid, 인간형 로봇) 프로토타입을 공개하였습니다. "HRP-5P"라는 명칭의 이 로봇(높이 182cm, 무게 101kg)은 석고판을 들고 이동하여 벽에 위치시킨 후, 드릴을 사용해서 판을 나무벽체에 고정하는 작업을 수행하였습니다.

HRP-5P의 동작은 비록 느릴지라도 그 정확성은 놀라운 수준이었습니다. 의도된 위치에 정확하게 드릴 작업을 수행한 것입니다. 이 로봇을 개발한 연구원은 "이 휴머노이드 로봇은 복잡한 건설작업 환경 속에서도 작업자의 동작을 복제할 수 있는 유연성을 지녔다"고 소개함과 동시에 "일본 건설산업은 노령화와 출생률 감소로 인해 인력부족 문제에 직면하고 있다. 우리는 로봇 기술 개발을 통해 이 문제를 시급하게 해결해야 한다"고 발표했습니다.



HRP-5P이 현재까지 개발된 건설로봇 중에 가장 진보한 형태라고 볼 수는 없지만, 로봇이 특정 업무에 한해서는 건설작업자를 대체할 수 있다는 가능성을 보여줍니다. 특히 건설현장의 노령화 및 인력부족 문제가 심각한 현 시점에서, 인간과 유사한 움직임으로 자유로운 이동과 작업이 가능한 건설로봇이 해당 문제들을 일부 해소할 수 있는 훌륭한 대안임을 시사하고 있습니다.



<https://newatlas.com/aist-construction-robot-humanoid-hrp-5p/56595/>

### Material Unit Lift Enhance (자재 양중 보조 로봇)

Concrete Masonry Units (CMU)는 내화성, 내구성, 방음성 등이 우수한 건축자재로, 건축물의 기초시공부터 구조부, 내벽, 외벽마감 시공까지 다양한 용도로 사용되고 있습니다. 현재 일반적으로 사용되는 CMU의 크기는 8x8x16 in. (약 20x20x40cm), 무게는 30-35 lbs (약 13.6-15.9 kg)인데, 기초나 외단열 일체타설 등의 공정 시 내화성능 및 내진성능을 강화하기 위해 CMU가 더 크게 생산됩니다. 여타 자재들과 같이 CMU를 더 크게 생산하고 사용할수록 자재 강성이 높아지고 작업자의 업무효율성이 증가합니다. 다만, CMU의 자재 운반 및 사용에 있어 작업자들은 인체공학적인 한계에 직면합니다. 특히 석공사 중에 숙련공이 CMU를 직접 운반하고 제반 공사업무를 수작업으로 수행하는 경우에 무거운 자재를 맨손으로 다루면서 안전사고가 증가하기 때문입니다.



미국의 Construction Robotics社は 숙련 조적공을 안전사고로부터 보호하기 위해 "Material Unit Lift Enhance (MULE)"라는 로봇을 개발하였습니다. 이 로봇은 작업자를 대신해서 CMU 뿐만 아니라 석재 및 기타 무거운 자재를 운반하고 작업자가 원하는 위치에 설치하는 등의 작업을 수행하도록 제작되었습니다. 이 로봇은 60kg에 육박하는 자재를 한 번에 들어올리고, 로봇설치 위치를 기준으로 높이 6m까지는 작업자가 원하는 곳에 자재를 내려놓을 수 있습니다. 조적공이 수작업으로 자재를 운반하고 위치시킬 경우, 해당 작업자가 하루 평균 운반하는 CMU 무게는 약 1,815kg부터 최대 4,535kg에 달합니다. 그러나 MULE을 사용할 경우, 조적공이 하루에 들어올려야 하는 자재 총 무게가 약 68kg 수준으로 획기적으로 줄일 수 있습니다. 아울러 모든 공정에서 자재를 올바른 위치에 설치하는 것은 몹시 중요한 문제인데, 이 로봇은 CMU 등의 자재를 정확한 위치에 배치함으로써 작업생산성이 획기적으로 증가하고 있습니다.

Construction Robotics社에서 개발한 MULE은 조적공들을 부상의 위험으로부터 자유롭게 하여 작업안정성을 제고하고, 어느 장소에서나 활용 가능한 장비로서 업무유연성을 확보하는데도 기여할 것으로 기대되고 있습니다. 아울러 이 건설로봇은 단순히 현장업무를 보조하는데 그치지 않고, 작업자의 과도한 육체노동과 피로를 줄여 노동집약적 산업으로만 인식되던 건설업의 이미지를 개선하는 데까지 일조할 수 있는 획기적인 기술로 전망되고 있습니다.

[http://www.onlinedigitalpublishing.com/publication/?i=469566&article\\_id=2987197&view=articleBrowser&ver=html5#?issue\\_id=469566,view=articleBrowser,article\\_id=2987197](http://www.onlinedigitalpublishing.com/publication/?i=469566&article_id=2987197&view=articleBrowser&ver=html5#?issue_id=469566,view=articleBrowser,article_id=2987197)

### Ekso Bionics (중량 전동공구 지지를 위한 로봇팔)

건설 작업자, 그 중 특히 철거 작업자는 항상 중량의 전동공구를 들어 올린 상태로 작업을 수행함에 따라 지속적인 피로와 부상의 위험에 노출되어 있습니다. 미국의 Ekso Bionics社에서는 건설 작업자의 신체적 부담을 해소하고 철거작업의 용이성을 높이기 위해 로봇팔 'EksoWorks' 시리즈를 개발하였습니다. 이 로봇 팔은 한쪽 끝은 무거운 공구를 고정할 채로 있으며, 다른 쪽은 하체 외골격과 균형추에 연결된 스프링 팔로 구성됩니다. 또한 공구의 무게가 작업자의 팔이 아닌 지면으로 전달되도록 하여 철거 작업 중인 근로자의 피로감을 줄여주고 부상의 위험은 최소화되며 작업능률은 향상될 수 있습니다.

Ekso Bionics社は 과거에 군사용 웨어러블 로봇 개발을 해왔으나 최근에는 건설업을 위한 작업자 보조 로봇 개발에 집중적으로 투자하고 있습니다. 이 회사는 건설산업 종사자의 안전사고 발생률이 타 산업 대비 5배 이상 높고, 안전사고 신고 건의 20%가 중대재해라는 점에서 해결책을 제공하고자 한 것입니다. Ekso Bionics社에서 개발한 Zero-gravity Arm은 'EksoWorks'의 가장 대표적인 기기로, 로봇 팔을 통해 최대 약 16kg 상당의 전동공구를 들어올림으로써 작업자가 '무중력'으로 느끼게 해줍니다.

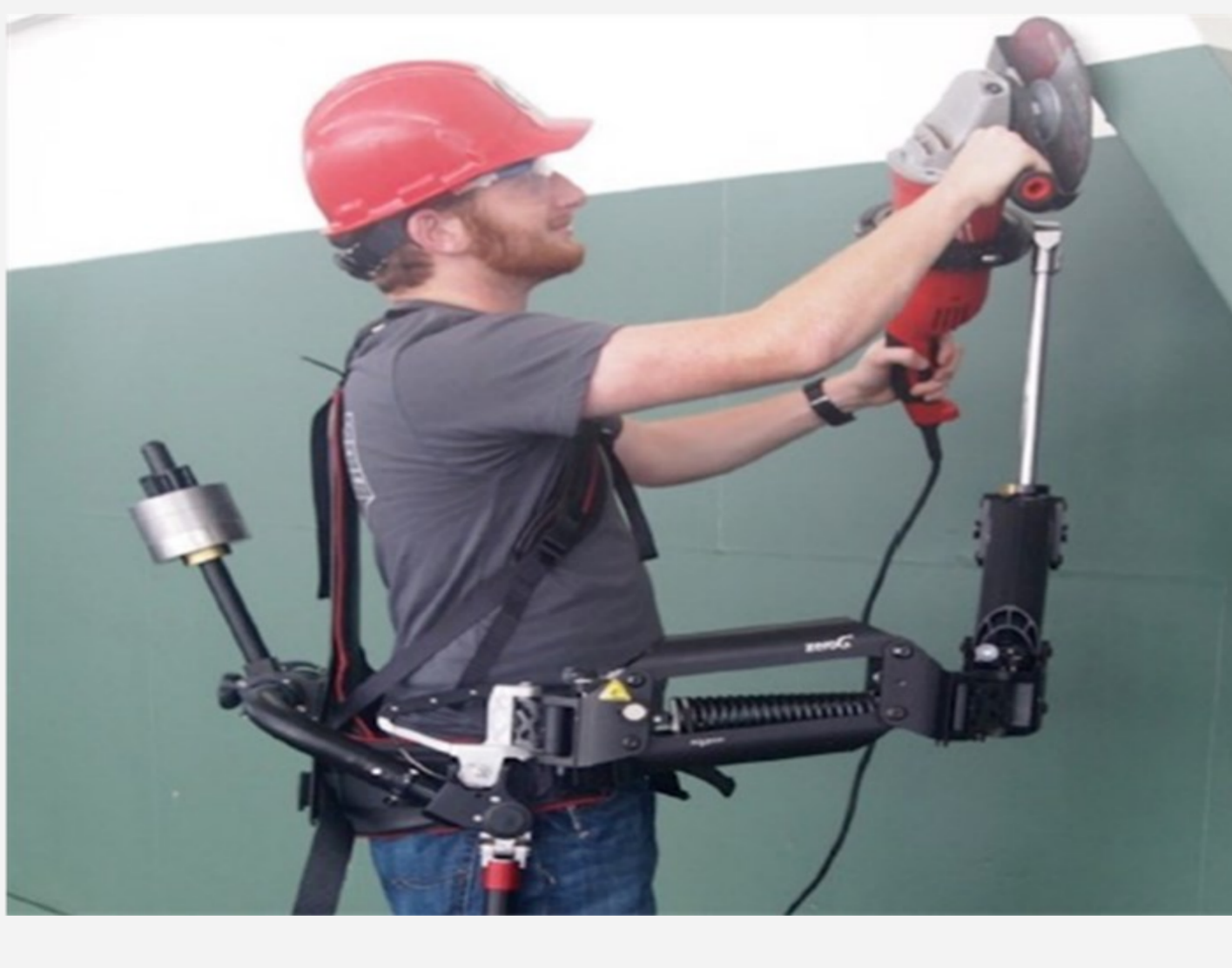
이 로봇팔에 리벳자르개(rivet buster), 파괴해머(demo hammer), 치평해머, 로터리해머, 임팩트 렌치, 그라인더 등의 기기가 부착되어 가설장비 및 기계 등의 철거작업에 활용됩니다.



실제로 Zero-gravity Arm을 사용해본 목공이 수작업 대비 작업생산율이 최대 300%까지 상승한 것을 체감하였음을 밝힌 만큼, 향후 활용도가 더욱 증가할 것으로 기대되고 있습니다. Ekso Bionics社は 중량 공구 지지 로봇 팔이 작업자의 부상을 방지하고 생산성을 높여줄 뿐만 아니라 작업 품질 역시 우수성을 확보할 수 있다고 이야기합니다.

<https://eksobionics.com/eksoworks/eksozerog/> // <https://constructible.trimble.com/construction-industry/exoskeletons-for-construction-workers-are-marching-on-site>

### Human-Robot Work Collaboration (인간-로봇 협동)



로봇기술의 발전에 따라 전통적인 산업용 로봇 외에도 자율주행이 가능한 '이동로봇', 인간과의 상호작용이 가능한 '협동로봇' 등이 개발되어 다양한 산업 군에서 활용되고 있습니다. 특히 협동로봇은 인간과 같은 공간에서 공동작업(human-robot work collaboration)이 가능하도록 다양한 형태로 설계되고 있으며, 근로자의 작업안정성을 보장하기 위한 안전기능을 더욱 강화하고 있습니다. 작업자와의 직접적인 접촉이 많이 이루어질수록 로봇의 오작동이나 안전장치 손상 등의 문제가 작업자의 안전에 큰 영향을 줄 수 있기 때문입니다. 그렇기 때문에 국제표준화기구(ISO)에서는 협동 로봇에 다음 네 가지 안전장치 중 하나가 탑재되어 있을 것을 요구하고 있습니다.

- (1) Safety-rated monitored stop (안전등급에 따른 관찰 및 정지): 특정 공간 내에서 작업할 때, 근로자가 일정 거리 내로 접근할 경우 로봇이 작업을 중지합니다. 작업자가 해당 구역으로 빠져나간 후에야 로봇이 다시 작업을 재개합니다.
- (2) Hand guiding (로봇 손 제어): 작업자가 안전 구역으로 접근했을 때에만 로봇이 작동 가능하도록 제어됩니다.
- (3) Speed and separation monitoring (속도 및 거리제어): 작업자가 접근할 때 로봇이 스스로 속도를 줄이며, 접촉이 발생하면 멈춥니다. 또한 로봇 스스로가 안전을 확보할 수 있는 최소한의 거리를 유지하고, 속도를 조절합니다.
- (4) Power and force limiting (전원 및 힘 제어): 접촉사고로 인해 로봇과 근로자가 충돌할 경우, 근로자에게 가해지는 충격을 최소화하는 기능입니다. 로봇이 충돌 위험을 감지했을 때 전원의 양 및 출력되는 힘의 세기를 낮춥니다. 특히 등근 모서리와 부드러운 표면으로 설계되어 사람과의 접촉이 발생할 경우 부상의 위험을 줄여줍니다.

<https://www.safetyandhealthmagazine.com/articles/16789-robots-in-the-workplace>

협동로봇은 인간과 작업 공간을 공유하기 때문에 안전설계가 필연적으로 포함됨에도 불구하고, 현장 작업자에서 여전히 상당한 위험을 초래합니다. 미국 로봇산업협회의 디렉터인 Carole Franklin은 "로봇 팔이 아무리 부드럽거나 둥글어도, 팔에 고정된 작업물(기구 등)이 날카롭다면 사람에게 여전히 상해를 입힐 수 있습니다. 사실 모두 간과하기 쉬운 한가지가 바로 다른 장비와의 상호 작용으로 발생하는 위험입니다"라고 이야기합니다. 그렇기 때문에 로봇의 협동작업으로부터 발생 가능한 위험 요소를 방지하기 위해 단순히 작업단계에 한정해서 리스크를 관리하지 않고, 로봇의 설계단계까지 위험평가가 범위를 확대하고 있습니다.

지금까지 지속적으로 언급된 바와 같이, 작업자와 로봇이 같은 공간에서 공사를 수행함으로써 기존 현장에서는 발생하지 않았던 안전사고에 대한 위험요인 발생하는 등 새로운 문제가 제기되고 있습니다. 이를 해결하기 위해 로봇기술 자체에만 연구가 한정하지 않고, 건설 작업자와 로봇이 함께 작업하는 환경에 대한 연구가 활발하게 이루어져야 합니다. 또한 작동하는 로봇 바로 옆에서 작업하는 것을 선호하지 않는 작업자들을 위해서 로봇과의 협동작업에 대한 인식의 개선을 위해 가상 현실(Virtual Reality) 기술을 활용하는 연구 (You et al., 2018) 사례와 같이, 작업자의 심리적인 부분에 대한 연구 역시 함께 진행되어야 할 것입니다.

<https://doi.org/10.1080/17447744.2018.1511111> YOU, S., KIM, J.-H., LEE, S., KAMAT, V. & ROBERT JR, L. P. 2018. Enhancing perceived safety in human-robot collaborative construction using immersive virtual environments. *Automation in Construction*, 96, 161-170.