

## 가설비계 설치작업의 재해요인 및 개선방안

KICEM



**김경훈** 한국건설기술연구원 건설정책연구소 수석연구원, greatekhh@kict.re.kr  
**부윤섭** 한국건설기술연구원 국민생활연구본부 전임연구원, yoonseobboo@kict.re.kr

### 1. 서론

한국산업안전보건공단의 2018년 산업재해통계 자료에 따르면 재해자의 27.1%(전체 102,305명 중 건설업이 27,686명)가 건설업에서 발생되고 있으며, 사망자 발생도 건설업이 26.6%(전체 2,142명 중 건설업이 570명)로 높은 비중을 차지하고 있다. 또한, 재해자의 전년 대비 증감률도 7.9%로 지속적으로 증가되고 있는 경향을 나타내고 있다.

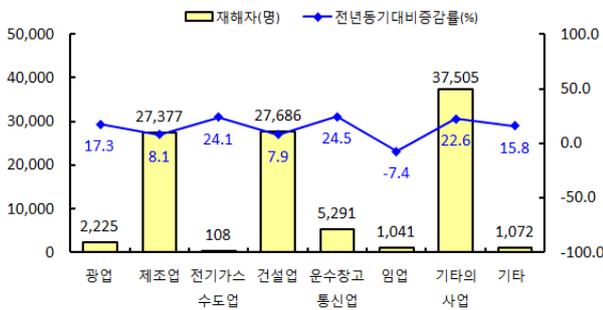


그림 1. 전체 산업재해 대상 재해자 발생현황 (한국산업안전보건공단, 2018)

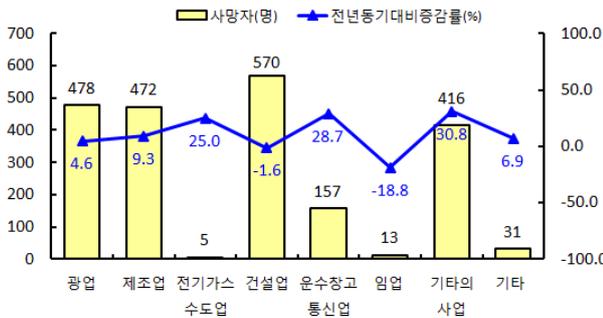


그림 2. 전체 산업재해 대상 사망자 발생현황 (한국산업안전보건공단, 2018)

그렇다면 타업종에 비해 재해자 및 사망자 발생비중이 높은 건설업종은 특히 어떤 공종에서 사고발생빈도가 높게 나타날까? 고용노동부에서 발간한 비계작업안전 실무안내서를 살펴보면, 최근 5년간 중대재해 기준으로 비계작업에서의 사망재해가 22.8%(건설업 전체 2,134명 중 건설비계작업 488명)로 아주 높게 나타났다. 가설비계의 경우 임시로 설치되는 가설구조물로써 영구 시설물에 비해 현장 구조적 안전성 검토, 자재 품질 검사, 설치 감리, 작업자 안전장비 등에 대한 투자 및 관심이 부족하다는 비릇된다고 판단된다.

특히, 이중에서도 주택, 아파트오피스텔, 빌딩 등 수직적으로 높이 올라가며 고소작업이 요구되는 건축물의 비계작업에서 사

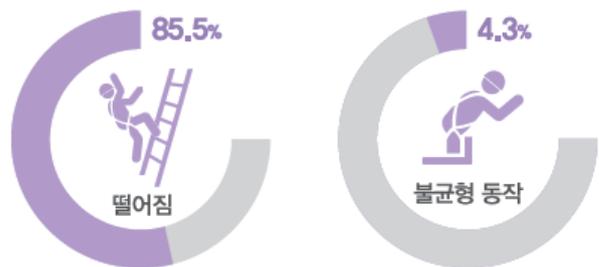
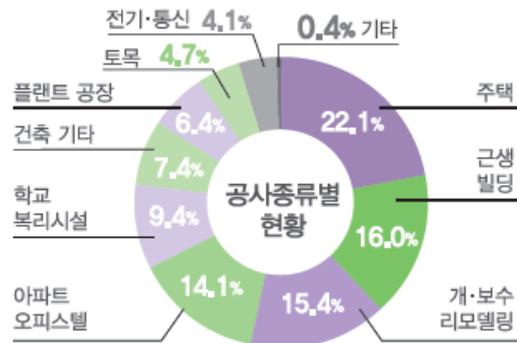


그림 3. 비계작업 사망재해 현황(고용노동부, 2019)

망재해 위험률이 높게 나타나고 있으며, 떨어짐에 의한 사망사고가 85.5%(건설비계작업 488명 중 417명)로 대다수를 차지하고 있다.

이에 국토교통부는 건설현장 추락사고 방지 등을 위한 대책 마련을 위하여 「건설현장 추락사고방지 종합대책」을 4월 11일 국정현안점검조정회의에서 상정하였으며, 종합대책의 핵심내용으로는 재래식 작업발판(강관비계)을 대신하여 일체형 작업발판(시스템비계)의 사용을 공공공사부터 민간공사까지 점진적으로 확대해나가기도록 법적으로 의무화하고 금융 지원책을 마련하는 것이 주요골자이며, 추가적으로 스마트 안전장비 사용, 작업허가제(PTW, Permit to Work) 도입, 소규모 현장 건설현장 점검 등을 포함하고 있다. 이와 같이 사망재해가 많이 발생하는 가설비계공사에서의 추락사고 사망자 감축을 위하여 국가 정책 및 제도적 측면에서 적극적으로 제·개정하며 안전장치를 강화해 나가고 있다.

그러나 시스템 비계(일체형 작업발판)사용이 구조적 안전성이 우수하고 작업자 추락예방효과도 높다고는 하나 시스템 비계에서도 다양한 위험요소가 존재한다. 이에 본 논고에서는 시스템 비계에서도 발생 가능한 다양한 재해요인들을 종합적으로 살펴보고 이를 저감할 수 있는 개선방안에 대하여 제언해보고자 한다.

## 2. 가설비계 설치작업의 재해요인 및 개선방안

### 2.1 가설비계 관련 빅데이터 축적

한국가설협회 회원사 조사(2017년)에 따르면 강관비계 업체 124개, 시스템비계 업체 48개가 존재하는 것으로 나타나며, 시스템비

계의 임대물량 비율은 16.7% 비중을 차지하고 있으며, 비계 설치 현장중 시스템 비계가 차지하는 현장수는 12.8%를 차지하고 있다.

표 1. 가설비계 현황

품목	업체수	임대물량(㎡)	강관비계현장수 <sup>1)</sup>
강관비계	124	25,637,719	7,085
시스템비계	48	5,139,859	1,043

이와 같이 한국가설협회에서 가설자재와 관련하여 많은 통계 자료를 조사하고 있으나, 현재 한국가설협회 회원사들은 주로 가설비계 제조 또는 임대업체로 구성되어 가설자재 설치를 담당하는 업체 및 실제 작업자들에 대한 정보가 부족하다. 작업자의 연령이 고령인지, 외국인 근로자였는지에 따라 사고 발생률에 많은 영향을 미칠 수 있기 때문에 이에 대한 세부적인 실태파악에 대한 노력이 필요하다. 그리고 가설비계에서의 추락사고 발생이 부재결합에 의한 사고였는지, 자재과적으로 인한 사고였는지, 벽이음 부재의 임의 해체에 따른 사고였는지에 대한 근본적인 사고경위 조사와 자료 구축이 필요하다.

실제로 건설비계 추락에 영향을 미치는 위험요인들을 살펴보면 작업자의 경력·연령·건강상태·교육이수, 안전점검·안전시설 설치, 현장 관리자 등의 자재 및 설치 검사, 자재 불량, 시공상세도 품질 등에 따라 많은 차이가 발생할 수 있다. 이에 따라 현장에서 발생하는 모든 이벤트들을 빅데이터 정보화하고 활용하여 재해요인들을 선제적으로 저감할 수 있는 부분들에 대해 적극적으로 대응해나갈 필요가 있다.

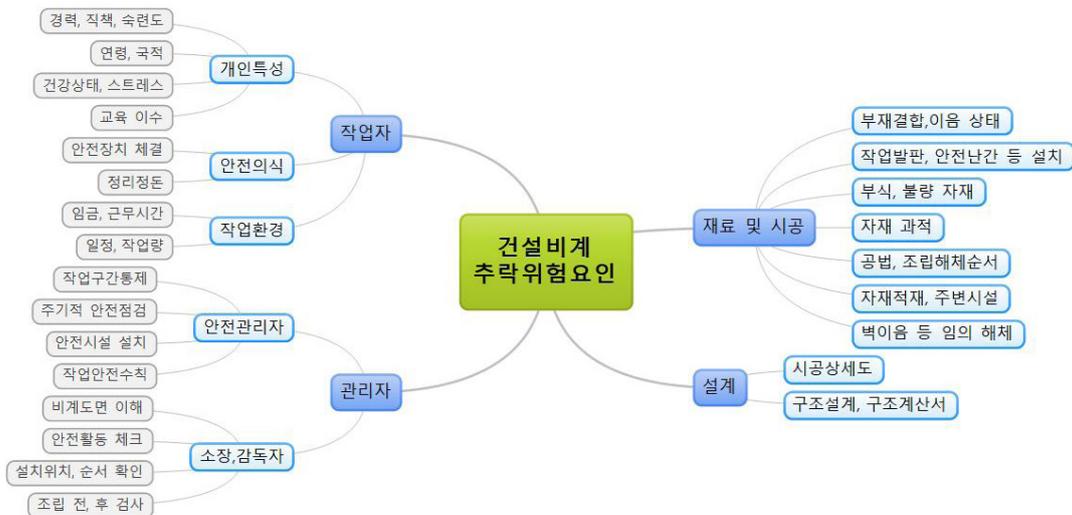


그림 4. 건설비계작업의 추락위험요인(김경훈, 2019)

1) 고용노동부, 시스템비계 사용 활성화 관련 간담회 자료(17.06)

### 2.2 가설자재의 이력관리 및 사용기간 제한

한국가설협회 조사결과(2017년), 회원사로 등록된 24개 업체의 시스템 비계 보유개수는 2,678,594개로 조사되었다. 그러나 업체들이 보유한 다양한 형태의 시스템비계 자재들이 언제부터 사용되었고 언제 보수되었으며 언제까지 쓸 수 있는지에 대한 사용기간 및 사용이력에 대한 관리기준이 미비한 실정이다. 그리고 가설비계자재의 경우 동일한 제작년도와 형상을 하고 있다고 해서 동일한 잔존수명이 남아 있을 것이라고 판단 할 수 없다. 시공 상세도면에 따라 전체 가설비계 자재들이 해당 위치에 조립 및 해체 시 손상되는 경우와 사용 시 부담하는 하중에 따라 각 가설비계 자재의 내구성 차이가 생길 것이며 이로 인한 자재의 수명주기가 달라질 것이다.

따라서 장기간 가설비계 자재들의 조립 및 해체 실험을 통해 전체 생애주기 동안 다양한 조건에 따라 얼마의 내구력이 저하되며 잔존수명이 저감되는지에 대한 실험이 수행될 필요가 있으며, 이를 기반으로 설계기준, 지침 등의 정비도 함께 수행될 필요가 있다. 또한, 일정 사용기간이 지난 후 급격한 구조안전성능이 저하되는 시점에 대해서는 의무적으로 구조안전성능 시험을 실시하여 합격 한 자재에 대해서만 사용하도록 규정하여야 한다.

가설비계 임대업체의 입장에서는 가설자재의 폐기나 손실 없이 오랜기간 동안 가설자재가 임대되어 사용되기를 희망할 것이며, 수많은 자재들이 검사나 수리 없이 재사용되는 경우가 많은 것이다. 이에 따라 품질이 저하된 많은 저가 자재들도 공공연하게 시공업체들이 임대하여 사용하고 있을 것으로 판단된다. 그러므로 임대업체에게도 시공시 발생하는 안전사고의 근본적인 원인이 품질이 저하된 자재로 인한 사유였다면 일부 책임지도록 하는 구조개선이 필요하다.

또한, 자재관리를 위한 기술적 개선방안으로는 가설자재의 생산이력관리를 효율적으로 진행할 수 있도록 하는 RFID Tag · IoT센서 부착 및 정보관리 시스템 개발이 필요하다. 이와 더불어 향후 장기간에 걸친 다양한 실험결과 및 센서를 통해 획득한 데이터를 바탕으로 자재의 노후도 예측 분야에 딥러닝 기술을 적용한다면 자재의 노후화로 인한 재해발생률을 획기적으로 절감할 수 있을 것이라 생각한다.

### 2.3 자재 반입 검사 및 품질시험기준 강화

재사용 가설기자재 성능기준에 관한 지침(2018)의 시스템동바리 및 비계용 부재에 대한 점검기준을 살펴보면, 성능기준을 제외하고는 점검방법이 육안으로 수행되고 폐기기준이 “변형, 휘어짐, 뒤틀림이 현저하여 정비가 불가능한 것”으로 제시되어 검사

KOSHA GUIDE  
C - 25 - 2018

#### 2) 점검기준

점검부위	점검항목	점검종류		점검방법	점검기준	비고																																
		일상	정기																																			
1. 공통사항	변형, 휘어짐, 뒤틀림	○		육안	변형, 휘어짐, 뒤틀림이 현저하여 정비가 불가능한 것																																	
	응집부, 균열, 부식	○		육안 NDT	응집부 부식이 현저하여 정비가 불가능한 것(균열이 있는 것)																																	
	콘크리트 등의 부착물	○		육안	콘크리트 등 부착물이 현저하여 정비가 불가능한 것																																	
2. 부재/부품	수직재	구부러짐	○	육안	구부러짐이 현저하여 정비가 불가능한 것																																	
		균열	○	육안 NDT	균열이 있는 것																																	
	응축과립	○	○	육안 또는 계측	응축과립이 불량(1종 6.0mm이상, 2종 4.0mm이상)하여 정비가 불가능한 것																																	
	관공의 변형	○		육안	변형이 현저하여 정비가 불가능한 것																																	
	수평재	구부러짐	○		육안	구부러짐이 현저하여 정비가 불가능한 것																																
균열		○		육안 NDT	균열이 있는 것																																	
3. 성능기준	수직재 압축강도	○	○	성능시험	다음 압축강도 미만인 것	방호장치의무안전인증고시																																
					<table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">길이(mm)</th> <th colspan="2">성능(kN)</th> </tr> <tr> <th>1종</th> <th>2종</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>900이상</td> <td>1800이상</td> <td>900이상</td> </tr> <tr> <td>900이상 1,200이하</td> <td>1400이상</td> <td>700이상</td> </tr> <tr> <td>1,200이상 1,600이하</td> <td>1200이상</td> <td>550이상</td> </tr> <tr> <td>1,600이상 1,800이하</td> <td>900이상</td> <td>400이상</td> </tr> <tr> <td>1,800이상 2,100이하</td> <td>700이상</td> <td>300이상</td> </tr> <tr> <td>2,100이상 2,400이하</td> <td>600이상</td> <td>250이상</td> </tr> <tr> <td>2,400이상 2,700이하</td> <td>500이상</td> <td>200이상</td> </tr> <tr> <td>2,700이상 3,000이하</td> <td>400이상</td> <td>170이상</td> </tr> <tr> <td>3,000이상 3,300이하</td> <td>350이상</td> <td>140이상</td> </tr> <tr> <td>3,300이상 3,600이하</td> <td>300이상</td> <td>120이상</td> </tr> <tr> <td>3,600이상</td> <td>250이상</td> <td>100이상</td> </tr> </tbody> </table>		길이(mm)	성능(kN)		1종	2종	900이상	1800이상	900이상	900이상 1,200이하	1400이상	700이상	1,200이상 1,600이하	1200이상	550이상	1,600이상 1,800이하	900이상	400이상	1,800이상 2,100이하	700이상	300이상	2,100이상 2,400이하	600이상	250이상	2,400이상 2,700이하	500이상	200이상	2,700이상 3,000이하	400이상	170이상	3,000이상 3,300이하	350이상	140이상
길이(mm)	성능(kN)																																					
	1종	2종																																				
900이상	1800이상	900이상																																				
900이상 1,200이하	1400이상	700이상																																				
1,200이상 1,600이하	1200이상	550이상																																				
1,600이상 1,800이하	900이상	400이상																																				
1,800이상 2,100이하	700이상	300이상																																				
2,100이상 2,400이하	600이상	250이상																																				
2,400이상 2,700이하	500이상	200이상																																				
2,700이상 3,000이하	400이상	170이상																																				
3,000이상 3,300이하	350이상	140이상																																				
3,300이상 3,600이하	300이상	120이상																																				
3,600이상	250이상	100이상																																				
경합부 인장강도	○	○	성능시험	인장강도가 30kN 미만인 것	방호장치의무안전인증고시																																	
4. 안전인증 및 자율안전확인 표시	안전인증 및 자율안전확인 표시 등 법에서 정한 식별 표시	○	○	육안	안전인증 및 자율안전확인 표시가 없거나 망실되어 확인이 불가능한 것																																	
					안전인증 및 자율안전확인 번호 등 법에서 정한 식별표시가 없거나 망실되어 확인이 불가능한 것																																	

그림 5. 시스템 비계 부재(수직재 점검기준)

를 진행하는 관리자의 주관적인 판단에 따라 점검결과가 상이하게 나타날 수 있다.

관리자에 따라 다양한 결과가 산출되지 않도록 뒤틀림이나 변형이 얼마만큼 발생되었을 때 폐기하게 되는지 구체적인 기준 제시가 필요할 것으로 판단된다. 그리고 수많은 자재를 검사자가 일일이 육안으로 점검하기에는 불가능하다. 이에 따라 3D Scanner 등을 활용하여 자재 반입 검사시 힘, 균열 등을 쉽게 인지하여 현재 상태를 체크할 수 있는 시스템 개발이 필요하다.

건설공사 품질관리 업무지침(제8조 제1항)의 건설공사 품질시험기준을 살펴보면, 시험빈도를 제품규격마다 3개 하도록 되어 있어 건설현장에 투입되는 가설비계의 물량규모를 따지지 않고 극소수의 자재만을 가지고 시험을 하다 보니 해당 현장 전체 가설 자재를 대표할만한 품질검사가 이루어지지 못하고 있는 실정이다. 이에 따라 동일 제품규격이라고 하더라도 가설비계의 투입 물량 개수가 많을 경우 이에 비례하여 품질시험 빈도를 높여야 할 것으로 판단된다. 또한 선별된 자재를 품질시험 대상으로 시행하지 않고, 품질시험시 현장 반입되는 자재를 대상으로 무작위 선정하여 최대한 품질시험의 신뢰성을 향상시킬 필요가 있다.

표 2. 건설공사 품질시험기준

종별	시험종목	시험방법	시험빈도
강관 비계용 부재	비계용 강관	인장 하중	· 제품규격마다(3개) · 공급자마다
	강관 조인트	휨 하중	
		인장 하중	
		압축 하중	
조립형 비계 및 동바리부재	수직재	압축 하중	· 제품규격마다(3개) · 공급자마다
	수평재	휨 하중	
	가새재	압축 하중	
	트리스	휨 하중	
	연결조인트	압축 하중	
		인장 하중	

2.4 설계단계에서 가설비계 도면 작성 및 안전성 검토 필요

특히 소규모 건축물의 경우 저가발주로 인해 가설 구조검토 미비, 현장조사 미흡, 발판·통로 등 세부 물량 미분류, 도급내역서 물량이 “㎡”단위로 제시되어 상세내역 부족 등의 문제로 인해 안전기준 및 구조적으로 안전하지 못한 가설비계 도면이 작성되고 있다. 이에 따라 도면이 안전기준이나 법규에 따라 제대로 모델링되었는지에 대해 효율적으로 검토해줄 수 있는 시스템 개발이 필요하다.

최근 IFC 표준으로 구현된 BIM 데이터 모델링을 기반으로 다양한 건축법규들을 자동으로 검토해볼 수 있는 시스템들이 개발되고 있다. (주)코스펙이노랩에서는 설계단계에서 개별적으로 법

규를 분석하고 각 조항들에 맞춰 도면을 적용하는 과정을 획기적으로 단축할 수 있는 시스템을 개발하였으며, 도면에 익숙하지 않은 허가권자들에게도 접근이 용이해 업무 효율을 극대화하도록 하였다. 또한, 이를 통해 행정소송이 제기될 수 있는 요소들을 사전에 파악할 수 있어 행정 신뢰도를 높이는 데 기여할 수도 있다.

향후 법규검토시스템의 일환으로 설계단계에서 가설비계의 최소 안전기준에 부합하며, 구조해석결과 구조적으로 문제가 없도록 작성된 설계도면인지 여부를 효율적으로 체크할 수 있는 시스템 개발을 시도해볼 가치가 있다.

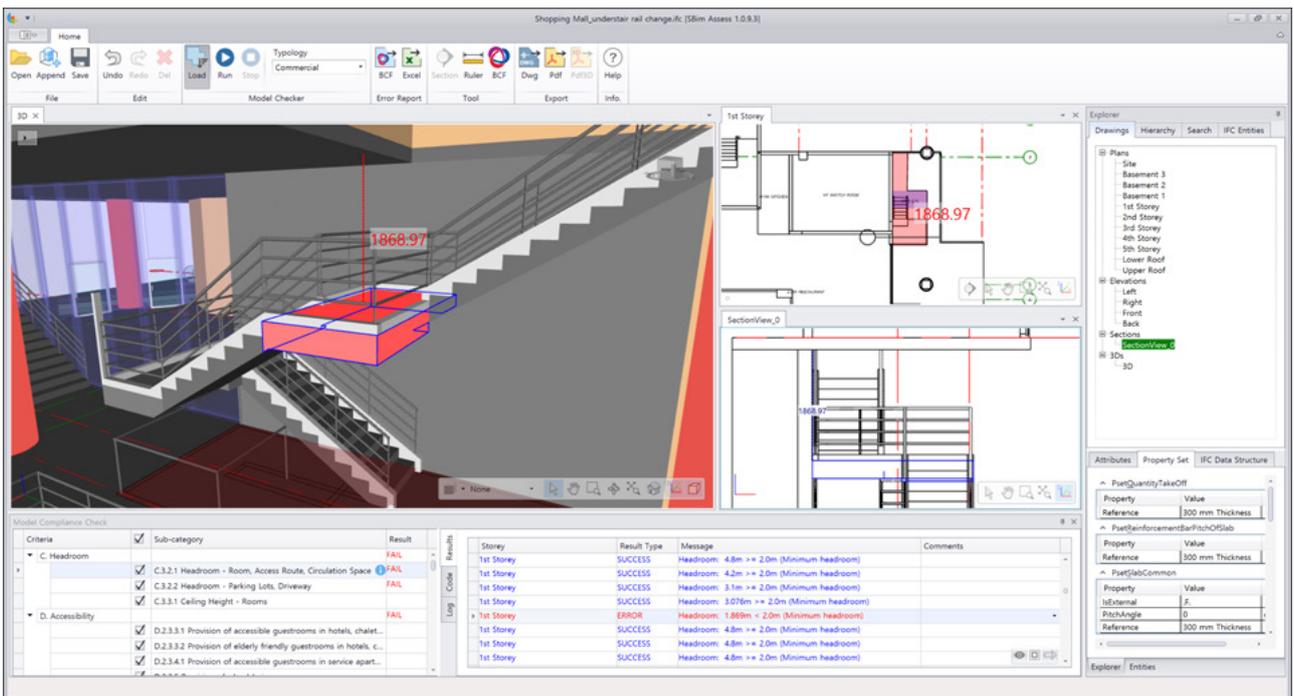


그림 6. 건축법규 자동검토시스템(주)코스펙이노랩)

### 2.5 가설비계 설치작업 관리 및 체결·해체 기준 확립

현재 국내 건설현장에서는 강관비계에 비해 시스템비계에 대한 작업효율성이 높다고 판단하여 실제 현장에서는 작업인력수가 더 감축되어 투입되는 경향이 있으나, 실제 현장 작업자들의 의견을 들어보면 시스템비계의 작업효율성이 높지 않고 오히려 더 힘들다고 토로하기도 한다. 이에 대한 이유를 살펴보면 크게 3가지로 나타난다.

① 고령자들이 많은 설치작업현장에서 강관비계보다 시스템비계의 무게가 더 무거워 운반이 용이하지 않다. 대다수 가설비계 설치작업의 경우 타워크레인이나 운송 장비를 활용하지 않고 작업자들이 직접 자재가 설치되는 위치까지 자재를 가지고 운반하는 경우가 많다.

② 외부 가설비계의 경우 직선 또는 직사각형 형태의 건물에 대해서는 시스템 비계를 활용하는 것이 설치가 용이하나 많은 변형을 가진 건물이나 코너 부위에 굴곡이 많은 형태의 건물에서는 시스템 비계적용이 어려워 작업 생산성이 떨어지는 경향이 있다.

③ 강관비계의 경우 비계클램프를 밴딩기계로 조임을 하는 반면, 시스템 비계의 경우 체결장치를 콧고 긴결시켜야 하는데 긴결의 정도가 어느 정도인지 몇 번을 망치로 두드려야 하는지에 대한 기준이 없다. 이에 따라 긴결정도에 따라 체결부위의 안전성 및 생산성에 차이가 발생된다. 만약 체결부위를 약하게 긴결하였을 경우 구조적 안전성이 저하되거나 체결부위가 분리될 수 있으며, 강하게 긴결하였을 경우 시스템비계의 체결부위 해체시 어려움이 있다.

그리고 소규모 건축물에서 강관비계로 설치되는 경우가 많았기 때문에 아직 시스템비계 설치작업에 대한 작업 매뉴얼이나 시스템비계설치작업을 많이 수행해본 작업자들의 숫자가 많지 않은 실정이다. 이에 따라 시스템비계의 작업특성을 고려하여 건설 기준 등에서 설치작업에 대한 적정기준 제시가 필요하며, 고령의 작업자들을 지원해줄 수 있는 장비 또는 자동화 로봇 개발이 필요하다. 최근 독일의 스타팅기업인 KEWAZO에서는 건설현장의 비계작업에 투입되는 인건비의 33%를 절감하고 소요되는 시간을 42% 가량 단축할 수 있는 로봇을 개발하였고, 필요한 자재를 설치 위치까지 작업자에게 전달하여 조립의 효율성을 높였다. 또한 경로찾기 알고리즘 및 머신러닝을 통해 작업자의 움직임 등을 분석해 작업자의 특성을 분석할 수 있는 기술을 구현해 나가고 있다. 앞으로는 작업자를 대신해 가설비계를 설치해주는 로봇이 등장할 것이며, 기술이 더욱 발전되는 미래에서는 가설비계 자체가

필요가 없이 3D 프린터와 같은 기술을 이용해 영구 구조물 및 마감자재를 시공하게 될 것이다.



그림 7. 독일 KEWAZO의 가설비계로봇

외부비계의 경우 가설비계설치가 완료되면 설치된 가설비계를 이용하여 건물의 외부벽체 마감자재 시공이 진행되며 마감자재 시공이 완료되면 가설비계가 해체된다. 그런데 마감자재시공시 마감자재가 가설비계의 작업발판에 400kg이상 과적될 경우가 있으며, 건물외벽 마감자재시공을 위하여 건물과 외부비계 사이의 벽이음재를 해체하고 다시 연결하지 않는 경우가 많아 붕괴사고로 이어지는 사례가 많다. 이뿐만 아니라 비계 고임목이 제대로 설치되지 않아 지반침하가 발생된다거나 가새나 벽이음재 등의 시공누락 등의 문제들로 인해 중대한 재해발생이 초래된다. 이에 대한 개선방안으로는 최초 구조적 안전성이 확보된 시공상세도면에 따라 적절히 시공되었는지 철저히 검토하고, 가설자재 하중의 위험인지 및 작업자 모니터링 등 실시간 안전관리시스템을 구축할 필요가 있다. (주)KLEES에서는 노내비계를 대상으로 하중 측정 모듈, 지지부 변위 측정 모듈, 작업자 모니터링 모듈 등을 활용하여 하중과 지지부위의 변위를 실시간으로 측정하여 비계의 정격 하중 초과 및 지지부 변형에 대해 실시간으로 경고하고, 적외선 열화상 카메라로 작업자를 모니터링하는 안전관리 시스템을 개발하였다.

건설분야의 가설비계는 플랜트분야의 보일러 노내비계와는 공법, 적용대상, 환경 등에서 다소 차이점이 있으나, 하중, 변위, 작업자 모니터링 등에 대한 기술은 건설분야의 가설비계에서도 꼭 필요한 기술임에는 틀림없는 사실이다. 이에 따라 건설분야의 가설비계에서도 해당 기술이 적용 가능하도록 연구와 노력이 필요한 시점이다.

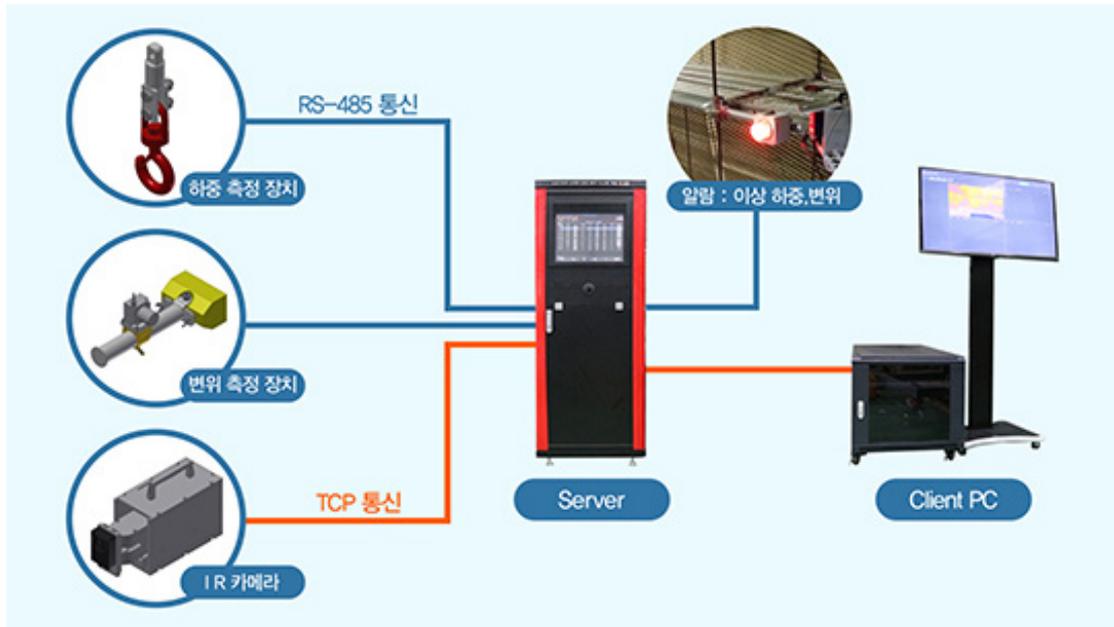


그림 8. 노내비계 스마트 안전관리 시스템((주)KLES)

### 3. 결론

지금까지 살펴본 바와 같이 건설업에서 높은 안전사고 발생률을 저감시키기 위해서는 가설비계 분야에 대한 투자와 정책 및 제도 개선이 필요하며, 나아가 IoT센서, 빅데이터, 인공지능 등 4차 산업혁명기술을 적극적으로 검토하여 가설비계 분야에 적용 가능하도록 기술개발에 박차를 가해야할 때이다.

### 참고문헌

1. 한국산업안전보건공단, 산업재해통계, 2018
2. 고용노동부, 건설현장 비계작업안전 실무안내서, 2019
3. 국토교통부, 건설현장 추락사고 방지대책, 2019
4. 한국건축시공학회, 현장 사고의 근원적 차단을 위한 기술안전 세미나 (4차 산업혁명 시대에 가설산업 발전방향), 2019
5. 김경훈, 부윤섭, 건설비계작업의 추락위험요인 도출에 관한 연구, 대한건축학회 추계학술발표대회, 2019
6. 김경훈, 부윤섭, 건설비계 설치작업의 위험요인 분석에 관한 연구, 한국건축시공학회 학술발표대회, 2019
7. 한국산업안전보건공단, 재사용 가성기자재 성능기준에 관한 지침, 한국산업안전보건공단, 2018.10