

석사학위논문

건설현장 안전관리를 위한 자동화
시스템에 관한 고찰

-건설현장 자동화 작업 시스템 및 재해 사례-

2026년

한성대학교 행정대학원

사회안전학과

사회안전관리전공

서진수

석사학위논문
지도교수 최천근

건설현장 안전관리를 위한 자동화 시스템에 관한 고찰

-건설현장 자동화 작업 시스템 및 재해 사례-

Aconsideration of Automation systems
for construction site safety management

- Automated Work Systems and Accident Case Studies at
Construction Sites -

2025년 12월 일

한성대학교 행정대학원

사회안전학과

사회안전관리전공

서진수

석사학위논문
지도교수 최천근

건설현장 안전관리를 위한 자동화 시스템에 관한 고찰

-건설현장 자동화 작업 시스템 및 재해 사례-

Aconsideration of Automation systems
for construction site safety management

- Automated Work Systems and Accident Case Studies at
Construction Sites -

위 논문을 사회안전학 석사학위 논문으로 제출함

2025년 12월 일

한성대학교 행정대학원

사회안전학과

사회안전관리전공

서진수

서진수의 사회안전학 석사학위 논문을 인준함

2025년 12월 일

심사위원장 조 용 민 (인)

심 사 위 원 최 천 근 (인)

심 사 위 원 공 평 원 (인)

국 문 초 록

건설현장 안전관리를 위한 자동화 시스템에 관한 고찰

-건설현장 자동화 작업 시스템 및 재해 사례-

한 성 대 학 교 행정 대 학 원
사 회 안 전 학 과
사 회 안 전 관 리 전 공
서 진 수

건설산업은 노동자 중심적인 산업이었다. 하지만 3D 업종이라는 인식에 작업인력에 대한 수요와 욕구를 충족시키지 못하고 있고, 이는 점차 숙련공의 부족 및 고령화 또한 초 고령화로 이어지고 있다.

최근 국내외 건설 동향은 건축물의 대형화, 초고층화, 첨단기술을 이용한 대형 건설 중기의 사용과 신공법, 신기술, 개발로 중대재해 발생 가능성이 아주 많이 높아지고 있다.

특히 건설공사 사업은 인력중심의 특성상 안전사고에 아주 취약한 특성을 가지고 있으면서 인력의 부재 및 고령화로 진행되고 있어서 보다 안전한 공사 현장 환경의 선진화 성장에 있어 필수적 사항이 되고 있는 실정이다.

안전하고 정밀한 공사 관리의 여러 가지 방법 중 건설산업 현장의 자동화 시스템이 21세기 최첨단 기술의 방향 및 발전과 더불어 앞으로

나아갈 건설현장의 새로운 방향 및 대안이 될 수 있다.

하지만 막대한 연구비용과 연구에 투자될 것으로 예상되는 건설 장비 자동화 시스템은 도입 초기에 있어서 건설현장에서의 특성을 보다 안전하게 반영할 수 있는 가이드라인이 형성 되어야 실질적으로 건설현장이 원하는 소기의 목적을 달성할 것이다. 다양한 방법으로 습득하는 건설자동화의 기준화한 기능으로서 우선적으로 중점을 두는 곳에 집중적으로 개발이 될 수 있도록 함으로서 궁극적으로 현장 현실에 문제점을 해결하고, 개선하고, 정착할 수 있게 건설관계자들의 노력이 필요하다.

이러한 위험성이 높은 건설현장의 건설생산성에 영향을 미치는 인력 대체를 통하여 생산성을 목적으로 할 수 있는 자동화 시스템의 향후 국내 건설자동화의 지표가 될 수 있도록 건설자동화 시스템을 활성화 시키고 건설현장 산업의 선진화를 위하여 초석 의로서 모든 역할을 할 수 있을 것으로 사료되는 바이다.

본 연구는 건설현장의 안전성과 기술성 및 생산성 향상을 고려함과 동시에 종합적 가이드라인을 제시하기 위한 중요 구체공사 중 표준화 정도가 가장 높고 인력 당 재해 건수가 많은 자동시스템 개발에 적합한 철골공사를 선택하여 연구에 중점을 두었다.

연구의 방법은 지난 과거의 통계자료를 분석하여 대표적인 안전사고의 원인별, 공정별로 우선순위를 결정하였으며, 이것은 통계수치가 가지는 과거 지향적 한계를 극복하고 시공 화 되지 않은 요소에 대한 생산성 및 자동화의 불가능을 가능하도록 연구 하였으며 이러한 분석을 통하여 여러 전문가들의 기술, 지식, 경험을 반영하고자 한다.

이러한 건설산업의 문제점을 극복하기 위해 건설산업에 있어서 다양한 변화가 시도되고 있는 실정이다.

이러한, 철골공사는 초고층화 되는 건설산업의 변화를 고려해볼 때 자동화시스템이 요구되어지는 공종 중 하나라고 볼 수 있다. 철골 공사

는 건축물의 안전성 및 내구성에 큰 영향을 줌에도 불구하고 작업 환경이 매우 열악하며 만성적으로 숙련 기능공이 부족하여 자동화가 크게 요구되어 지는 실정이다.

철골공사에서의 많은 위험 요소로 인하여 기능공들의 사망 사고가 늘어나는 추세이다 이를 보완하기 위하여 건설현장 작업자 안전성을 위한 자동화시스템이 활성화되길 바라며 안전사고로 인한 사망사고가 더 이상은 일어나지 않도록 안전에 유의하여 보다 즐거운 건설현장이 되었으면 하고 바라봅니다.

【주요어】 건설현장 작업자 안전성, 철골공사 자동화 요구, 건설장비 자동화, 시스템 활성화.

목 차

I. 서 론	1
1.1 연구의 배경 및 목적	1
1.2 연구의 범위 및 방법	3
II. 기존연구 분석	5
2.1 개요	5
2.2 자동화 관련 연구	5
2.2.1 건설자동화의 개념	5
2.2.2 철골공사의 자동화 현황	5
2.3 안전관리 관련 연구	9
2.4 소결	11
III. 철골공사 분석	12
3.1 개요	12
3.2 분석 범위 및 방법	15
3.3 건설공사의 재해유형 분석	16
3.3.1 빌딩공사의 재해현황 분석	16
3.3.2 빌딩공사의 정의	16
3.3.3 빌딩공사 재해현황 분석	16
3.3.4 빌딩공사 공종별 중대재해 발생현황	17
3.3.5 빌딩공사 공종의 분류	20
3.3.6 산업안전 보건법 관련 건설 중대재해 발생현황	22
3.3.7 작업 공종별 재해발생 현황	23
3.4 철골공사의 재해유형 분석	26
3.4.1 작업 공종별 분석	26
3.4.2 발생 형태별 분석	27
3.4.3 철골공사의 재해발생 원인	28
3.4.4 앵커볼트 작업	29
3.4.5 기둥 세우기 작업	29
3.4.6 보 설치작업	31

3.4.7	고장력 볼트 본 체결 작업	33
3.4.8	용접작업	34
3.4.9	Deck Piate 작업	35
3.5	중대재해 사례의 종합적 분석	36
3.5.1	안전설비의 미비	37
3.5.2	작업 근로자 과실	37
3.5.3	관리 감독 미비	37
3.6	소결	38
IV.	자동화 시스템에 대한 조사	40
4.1	개요	40
4.2	기본개념	41
4.2.1	RCA 시스템 및 자립형 철골 접합부 분석	41
4.2.2	RCA 시스템 분석	41
4.2.3	자립형 철골 접합부 분석	42
4.3	자립형 철골 접합부의 시공성 분석	45
4.3.1	MOOK-UP test 수행방법	45
4.3.2	구조안전성	45
4.3.3	단위 작업시간 측정 및 기존방식과의 비교	48
4.3.4	철골공사 시간 및 산출	50
4.4	건설 자동화 시스템의 미래전망	52
V.	결 론	55
5.1	기대효과	56
5.1.1	XR 기반작업자- 로봇 원격제어기술개발 및 실용화를 위한. 과학. 기술적 기대효과	56
5.1.2	경제적 기대효과	60
5.1.3	신 시장 및 비즈니스 모델 창출	61
5.1.4	사회적 기대효과	62
참 고 문 헌	65
ABSTRACT	69

표 목 차

[표 1] 건설 자동화 관련 연구 (국내연구중심)	8
[표 2] 안전 관리 관련 연구	10
[표 3] 최근5년 사망사고발생건수 및 사망자수 (건.명)	14
[표 4] 빌딩공사 재해발생 현황	17
[표 5] 빌딩공사 공정별 중대재해발생 현황	18
[표 6] 빌딩공사 직종별 중대재해건수 및 재해발생 순서	19
[표 7] 공중 분류표 비교 분석표	21
[표 8] 최근 5년간 철골공사 관련사고 사망자 (단위:명)	22
[표 9] 공사규모별 최근 5년간 철골공사 관련사고 사망자	22
[표 10] 직종별 소요인력 구성 비율	24
[표 11] 중대재해사례와 소요인력에 따른 위험지수	25
[표 12] 작업 공중별 분석	27
[표 13] 발생형태별 분석	27
[표 14] 앵커볼트 설치과정에서의 발생원인	29
[표 15] 기둥세우기 공중에서의 발생원인	30
[표 16] 보 설치 작업에서의 발생원인	32
[표 17] 고장력볼트 본 체결 작업에서의 발생원인	33
[표 18] 용접 작업에서의 발생원인	34
[표 19] Deck Plate 작업에서의 발생원인	35
[표 20] 철골공사 재해 발생원인	36
[표 21] 브라켓 및 썬기 접합부 부재 작용 응력 분포	46
[표 22] 기존방식과 자립형 철골부재를 이용한 방식의 보 부재설치 프로세스 및 작업시간 비교	48
[표 23] 부재 1개의 1회 설치시간	51

그림 목 차

[그림 1] 연구의 방법	15
[그림 2] 철골건립 프로세스	26
[그림 3] 발생형태별 분석	28
[그림 4] RCA 시스템 핵심 개발 기술	42
[그림 5] 자립형 철골 접합부 부재 구성요소	43
[그림 6] 자립형 철골 접합부 부재 설치 프로세스	44
[그림 7] 변형계이지 설치위치	46
[그림 8] 브라켓 및 썬기 접합부 하부 이론상 발생 처짐	47
[그림 9] 철골 공사의 현장 조립 공정표	50

I. 서론

1.1 연구의 배경 및 목적

건설 산업현장은 재해사고 발생률이 아주 높은 산업이다. 노동부(2024) 전체 산업현장에서 발생하는 재해의 약 60퍼센트 이상이 건설업에서 발생함을 알 수 있다. 이러한 재해의 발생은 여러 가지 원인에서 찾아볼 수 있으며, 근본적인 원인은 인력중심의 산업이라는 것이다.

건설재해의 예방을 위하여 활용할 수 있는 안전정보는, 재해예방대책, 재해 사례, 안전기술, 기준으로 구성되며, 과거의 재해사례에 관련한 정보는 가장 강한 자극으로써 특히나, 수행예정인 작업과 유사한 과거 재해사례는 건설작업의 위험성 및 안전대책을 수립하는데 직접적인 정보를 제공하여 주었다.

이러한 비슷한 현장의 재해사례에 대한 여러 분석 자료를 토대로 수행예정인 건설공사의 안전관리 공중 및 작업상의 위험요소를 파악해 이를 집중 관리할 수 있도록 하였다. 이러한 재해사례는 또한 재해예방을 위한 측면에서 대책수립을 위하여 믿음과 신뢰할 수 있는 유익한 정보라 할 수 있다.

이는 건설재해가 원시재해, 반복재해, 유사재해, 동종재해, 라는 특성을 가지고 있다는 점에서도 알 수 있다. 그러한 효과적인 건설산업 안전관리를 예방하기 위해서는 건설재해 사례의 요인을 분석하고, 상황에 따라 건설재해 예방 및 대책수립 또한 필요한 정보로 사전에 예방하는 것이 필요 할 것이라 판단된다.

건설 안전관리를 실행하기 위해서는 건설재해 사례에 대한 심층 분석 자료들을 활용하여 건설공사를 중심으로 한 건설현장의 재해요인을 분석해 이를 사전에 예방하는 것이 필요하다. 이러한 관점에서 기존의 재해사례로 부터 얻은 정보는 건설현장의 특성을 분석하여 공정 및 상황에 따라서 필요한 정보로 건설재해 예방을 위한 대책마련이 매우 유용한 도구가 될 것이다.

효율적인 건설공사의 안전관리 시스템 구축을 위해서는 기존에 발생한 재해사례를 대상으로 하여 이를 고찰하고 재해의 상황에 따라 그에 따른 적절

한 안전 대책을 위한 자료로 제시하고자 한다.

건설공사는 재해의 발생 가능성이 가장 높은 산업으로 특히 재해발생 빈도수가 높으며, 이를 위한 특별한 관리 방안의 제시가 필요한 실정이다.

재해의 발생은 인력의 고령화 및 기술에 대한 정교한 기계의 대체를 필요로 하고 있는 실정이며, 철골 구조물의 제작 및 조립과정을 자동화하는 것은 건설산업에서의 혁신적인 발전 중 하나이다. 이를 통해 생산성을 향상시키고 건설 프로젝트의 효율성을 높일 수 있을 것이다. 이로 인한 로봇기술의 도입, 건설산업에서 로봇기술을 활용하여 철골 구조물의 조립과정을 자동화 할 수 있다. 일본을 중심으로 개발되기 시작한 건설 자동화 시스템 장비들은 소형 유닛 위주의 단일 로봇과 생산성 시스템으로 변경하는 자동화시공 시스템장착으로 구분해볼 필요가 있다.

현재는 안전한 건설공사 환경을 위한 시스템과 또한 고령화된 기술 인력의 대체 입장에서 연구와 개발에 대한 논의가 이루어지고 있지만, 철골 구조물의 조립 과정을 자동화함으로써 작업자의 인력을 줄이고 작업 시간을 단축할 수 있고, 자동화된 조립 라인을 활용하면 철골 구조물을 빠르고 정확하게 조립을 할 수 있다. 센서 기술 및 데이터 분석 기술을 활용하여 자동화된 제작 및 조립과정을 최적화할 수 있으며, 실시간 데이터를 수집하고 분석하여 프로세스를 개선하고 비용 또한 절감할 수 있다.

자동화된 철골 구조물 제작 및 조립 시스템은 안전성을 강화할 수 있다. 작업자들이 위험한 작업을 수행하는 대신 로봇이나 자동화된 장비가 작업을 수행하므로 안전사고의 발생 빈도 또한 줄일 수 있다.

따라서 철골 구조물 자동화는 건설산업의 생산량과 효율성을 증폭시키는 데 중요한 핵심 역할을 할 것이며, 이를 통해 건설 프로젝트의 완료 시간을 단축함과 동시에 비용을 절감하는데 큰 도움이 된다.

현재의 상황을 잘 반영하여 건설산업에서의 자동화시스템 장비 개발을 위한 가이드라인이 제시되어야만 능동적인 개발이 가능할 것이며, 자동화시스템 관련 우선순위 산정에 대해서 기초적인 연구가 아직은 미비한 실정이므로 실제로 건설자동화를 위한 도입과정에서는 생산성의 향상 보다는 안전성과 일정한 품질관리를 목표로 도입되고 있으므로 이를 위해서는 중요도에 따른 우

선순위 배정 및 이를 위한 제반적인 기반연구를 실시하여야 한다.

여기에서는 위험성이 높은 건설산업 환경의 안전성을 고려하여, 단위 공종당 기술인력 대체를 통한 생산성을 목적으로 할 수 있는 자동화시스템 장비 개발 지표를 제시하고자 한다. 정량화된 자동화 지표는 향후 건설 산업 발전에 있어서 자동화장비 개발의 가이드라인이 될 수 있으며, 이를 통한 산업 건설에 이바지 할 수 있기를 바란다.

이러한 건설산업의 문제점을 극복하기 위하여 건설산업현장에 있어 다양한 변화가 시도되고 있다. 최근 자동화 시스템의 기술을 도입, 공장의 생산라인 자동화 시공프로세스의 합리화 등의 노력이 지속적으로 추진되어지고 있다. 이러한 국내 건설 산업에서의 여러 노력에도 선행되어야 할 건설공사에 대한 분석은 안전 및 기술이 아닌 건설공사 실적 분석, 또는 작업시간 분석, 등 수주에 국한 되어 한계성을 나타내고 있다.

특히 일본, 미국 등의 선진국에서는 공사실적이나 작업 측정에 의한 공사 뿐 만 아니라 동작 연구를 통한 공사분석을 실시하여 이를 작업관리에 적용하고 있다. 또한, 동작연구에 의한 작업분석은 건설산업현장에 있어 자동화 기술의 접목을 직, 간접적으로 유도할 수 있다는 점에서 기존의 보편화 된 작업시간 분석이나, 건설공사실적 분석, 과는 차이점을 두고 있다.

또한, 철골공사는 초고층화 되어 지고 있는 건설산업의 변화를 고려할 때 자동화시스템이 크게 요구되어지는 공종 중 하나라고 할 수 있겠다. 철골공사는 건축물의 안전성 및 내구성에 큰 영향을 주었음에도 불구하고 작업환경이 매우 열악하여 만성적으로 숙련 기능공이 부족한 상태라 자동화가 크게 요구되어진다.

1.2 연구의 범위 및 방법

건설산업 자동화시스템을 위해서는 우선적으로 재료의 표준화 및 잦은 설계변경 가능성 등 여러 가지 요소들을 고려하여야 한다. 본 연구에서 제시하고자 하는 건설공사 자동화시스템을 위한 개발의 방향을 철골공사를 통하여 확인을 하고자 한다. 건설산업의 달라진 변화에 모습은 최신정보화, 지식화,

고효율화, 기술 집약화 등이다.

시설물의 다양화 및 복잡화가 되어가는 새로운 시대에 이를 만족 및 충족시킬 수 있는 기술력의 확보가 다양한 경쟁력의 관건이 되고 있으며 복잡한 수요를 만족시킬 수 있게 하는 기술 및 엔지니어링의 발전이 요구되고 있어서 새로운 도전과 기술의 동기여부가 충분하다고 본다.

이러한 기존의 공식화 된 기술 공법 및 철골기술 중 철골공사는 표준화된 작업 지침 및 재료를 다루고 있어서 이를 통한 자동화 시스템이 가장 적절한 실정이다. 또한 철골공사는 단위 인력 당 가장 많은 중대재해자를 발생시키기에 대한 고려가 꼭 필요한 실정이다.

본 연구에서는 안전요소 들을 가중치로 활용한 선택지수를 제시케 하여 건설관리자의 의사 결정에 도움을 주고자 한다. 안전요소 상황파악은 기존의 연구를 토대로 분류된 사항을 기본 바탕으로 한국 산업공단과 노동부 재해사례의 자료 분석을 통해 상대 빈도수를 나타냄으로써 가능하게 하였다.

본 연구 고찰은 기존의 통계자료의 분석 결과를 중점으로 계층을 구성하였다. 자동화를 실시할 경우 근로자 안전성 면에서 향상될 수 있는 부분과 생산성 향상을 위한 지표를 토대로 이를 분석한다. 분석된 결과물과 기존 통계자료 분석에 따른 결과를 기본수식을 통하여 분석한 후 최종 결과를 명시하도록 하고자 한다.

철골공사의 작업 분석을 위해 건설현장에서 철골 조립관련 작업자의 동작을 중심으로 연구를 진행 하였으며, 건설공사 단계 중 철골공사를 중심으로 한 건설 자동화시스템을 위한 요인을 도출 하였고, 이를 위한 고찰의 절차는 다음과 같다.

첫째: 건설 자동화시스템 및 철골공사 자동화시스템에 대한 개념을 위하여 이론적 고찰을 실시케 한다.

둘째: 문헌 고찰 및 전문가를 통해서 건설 자동화를 위한 철골공사 계획의 의사결정 영향 등 요인을 도출 한다.

셋째: 도출된 영향요인을 바탕으로 인과 지도를 작성하여 각 요인을 분석 하고자 한다.

Ⅱ. 기존연구 분석

2.1 개요

본 장에서 건설현장 자동화 시스템 관련 기존의 고찰 및 안전관리 관련 연구 중 구조물 철골공사 관련 연구를 분석한다. 건설현장 자동화시스템 관련 기존의 연구 방식은 건설분야의 자동화 시스템 도입의 절차 및 방법 등에서 연구 단계의 활성화와 요구사항 등에 대한 연구가 중점이었고, 특수 목적을 가진 로봇을 이용한 장비의 소개가 주로 이루어져 왔었다.

지금까지 안전관리에 관련된 연구는 건축공사의 재해 관련 및 위험도에 해당하는 관련연구와 철골공사에 대한 사례분석 연구들이 많이 있었다. 이와 같은 기존의 연구 결과를 통하여 본 연구가 나아갈 지표 및 방향을 설정 하도록 한다.

2.2 자동화 관련 연구

2.2.1 건설자동화의 개념

건설자동화(Construction Automation)라 함은 컴퓨터 와 전산기술을 이용한 정보화, 반자동 형태의 로봇 개발, 기계화를 위한 자동, 통합관리시스템화 등 소프트웨어적인 기술,시공의 성력화 등 하드웨어적인 기술을 포함한다.

결국 건설자동화는 소프트웨어와 하드웨어의 인터페이스를 이용한 지능형 로봇의 개발과 더불어 관련 정보의 자동화를 하나로 묶어주는 “이른바 디지털 건설 로봇화(Digital Construction Robotization)”라고 할 수 있을것이다.

따라서 요소기술은 관리기술, 건설기술, 기계, 전기, 메카트로닉스, 정보통합기술 등 다양한 분야에 첨단기술의 융복합 종합기술이라 하고 있다.

2.2.2 철골공사의 자동화 현황

국내에서는 2000년대 초부터 시작된 고층건물의 시공 자동화 시스템 개발이라 불리는 철골 공사 등에서 건설자동화 및 로봇분야 등에 대형 국책 연구개발이

진행되고 있으며, 로봇 크레인 및 고층건물 구조체 자동화 시공 개발 등을 위해 로보틱 크레인 기반의 초고층건물 구조체 시공의 자동화 시스템 기획 및 통합, 클리어링 유압로봇 및 건설공장 구조체 기술 개발과 로보틱 크레인 기반의 자재 설치의 핵심 기술 개발과 무선인식(RFID) 와 다차원 CAD 기반에 지능형 건설자재 조달 시스템 개발 등이 성공적으로 이루어지고 있다.

자동화 및 로봇시스템의 완성도는 개발수준에 따라서 크게 인력과 기계협업체계(Man-machine interface)와 반자동화(Semi automation) 그리고 로봇화(Robotization)로 구분을 한다면 현재 국내에서 진행 되어진 연구개발은 인력, 기계협업체계 와 반자동화 수준이라고 할 수 있을 것이다.

건설 자동화 시스템과 관련된 기존의 연구결과 표1을 살펴보면, 크게 두 가지 방향으로 발전을 하여왔다. 현재 건설시장에서는 시공의 기계화 와 로봇화 촉진 등을 통하여 인력의 존형으로부터 탈피하고자 하는 노력 등이 지속적으로 이어져 오고 있다.

이러한 기존연구들은 건설 자동화 방향을 제시해 시대적 흐름을 전파하는 역할을 수행하여왔다. 그러나 이러한 기존 연구들은 건설자동화 도입에 대하여 국내 건설현장의 객관적 분석 등과 종합적 인식 없이 과도 하게 건설자동화 도입의 타당성과 정당성을 가정하는 경향이 있었다.

건설 자동화 도입의 초입과 중간단계인 자료 분석 등을 통한 객관적 지표 선정 방식에 부족한 면이 많았다.

본 연구에서는 건설생산의 효율성 제고를 위하여 건설기계장비 활용도 향상을 위하여 국내, 외 건설기계 자동화에 관련된 연구개발 동향을 살펴보고, R&D 투자현황 등을 조사, 분석하였다. 또한 건축과 토목공사 등에 있어 건설자동화 분류체계를 수립하였고, 자동화 대상작업의 후보군 등을 선정한 후 자동화 대상작업의 우선순위를 도출하였다.

도출된 자동화 우선순위를 바탕으로 하여 총괄 로드맵을 작성하였고, 자동화 단위 그룹 내 자동화 대상 작업의 자동화 작업에 필수적으로 요구되는 요소기술의 도출결과를 내용으로 중점 영역별 로드맵을 구축하여 제시 하였다. 연구에 결과물은 국내건설현장 생산방식에 성역화 와 기술 집약을 향한 최첨단 기술 분야의 R&D 전략수립 기초자료로서 활용될 수 있을 것으로 기대되어진다.

2003년 정부는 차세대 성장 동력 산업 중 하나로 지능형 로봇산업을 선정하였고, 2020년에는 로봇산업을 100조원대의 시장을 형성하여 자동차산업 규모로 발전할 것으로 사료되며, 산업과 우리 삶에 끼치는 영향은 자동차산업보다 훨씬 클 것으로 예상되고 있다. 이른바 로봇혁명이 도래되는 것이며, 로봇 사피엔스의 출현으로 로봇과 인간이 공존하는 시대를 맞이하게 될 것이라는 소견이 전문가들의 견해이다.

건설사업 수행의 시스템화는 기술적 측면과 관리적 측면에서 고려될 수 있다. 관리적 측면에서 사업비, 공정, 품질 및 안전관리의 최적화에 대한 노력이 꾸준히 진행되고 있으며 최근에는 그 성과에 대한 평가로 확대되고 있다. 반면 기술적 측면에서의 건설생산 방식의 혁신을 통한 효율성 제고는 막대한 투자비용과 오랜 검증기간이 소요되기에 가시적 성과를 도출하기에는 많은 어려움이 있는 실정이다.

그러나 2000년대에 들어서면서 건설생산의 효율성 제고를 위한 기술혁신 방안으로 건설자동화 및 로봇화의 필요성이 대두되어 간헐적으로 건설자동화 연구개발이 수행되어 왔다. 2005년도 건설교통부 연구개발사업으로 『첨단융합건설기술 개발사업』이 발족됨으로 IT, NT 등 타 분야의 첨단기술과 건설기술이 융합하여 차세대 복합 건설기술을 개발하는 원동력(driving force)이 되었다.

미래 건설의 초고층화, 대형화, 복잡화에 따른 인력의 존형 기술의 한계점, 국내의 산업구조가 2차 산업에서 3차 산업으로 전환되면서 비롯된 건설 기능 인력과 숙련된 기술자들의 부족 문제를 해결하고, 첨단 시공기술 등을 활용한 해상 공간, 지하 공간, 우주공간 개발 등의 새로운 건설시장에 개척이 필요한 핵심요소 기술 증대에 따른 대응책으로써 건설자동화 및 로봇화의 필요성이 강조되고 있는 실정이다.

이에 본 연구 관련에서는 건설자동화와 로봇화의 의의, 현재 기술과 미래전망을 살펴보고자한다(이준복 2007).

[표 1] 건설 자동화 관련 연구 (국내연구중심)

저자	연구제목	연구내용
김지훈 등 (2021)	스마트 건설자동화 R&D 단계별전문가 그룹의 역할과 책임을 분석하고, 혁신 촉진을 위한 전략 제안	스마트 건설자동화 R&D 단계별로 전문가 그룹의 역할과 책임을 분석
박성민 등 (2022)	인간-기계 인터페이스와 건설로봇의 협업 효율성 향상 방안 연구	건설현장에서의 Man-Machine Interface(MMI) 기술적용 사례와 효율성, 안전성 개선 효과 분석
이수현 등 (2020)	철골 구조물 조립 자동화를 위한 로봇핸드 개발 및 실증	철골구조물 조립 과정에서 로봇핸드를 활용한 자동화 기술 개발 및 현장적용 실증, 안전성, 생산성 평가
정유진 등 (2023)	국내 건설 내. 외장재 설치 로봇 기술 현황 및 적용성 평가:HUSCOR 사례	내. 외장재 시공 자동화 로봇의 현장 적용 사례 분석 및 안전, 품질 문제 해결을 위한 기술 제안
최한결 등 (2024)	건설로봇 도입에 대한 국내 건설업 종사자 인식 변화 연구	스마트 건설로봇 도입 필요성, 기대효과, 현장 인식 및 장애요인 분석, 정책적 지원 방안 제시
홍성철 등 (2023)	건설 시공 자동화 시스템의 현황과 발전 방안: 3D프린팅 및 드론 활용 중심	3D 프린팅, 드론 등 신기술을 활용한 시공 자동화 시스템개발 동향과 국내 적용 사례 및 개선방안
김영석 등 (2022)	건설자동화 기술 로드맵 및 연구 개발 활성화 전략	건설자동화 기술 발전 단계별 로드맵 작성 및 연구개발 촉진을 위한 정책, 제도적 제언
임현호 등 (2023)	안전성 및 생산성을 고려한 건설 로봇 도입 영향 분석 및 자동화 요구도 지수 개발	건설 자동화 도입이 안전성과 생산성, 고용에 미치는 영향 분석 및 자동화 요구도 평가 지수 제안

출처 : 주한중 등, 건설로봇도입의 필요성, 고려사항에 대한 건설인 들의 인식 분석.

2.3 안전관리 관련 연구

건설현장 등에서 발생하는 중대재해의 원인 및 개선방안에 관련한 기존의 연구들은 표 2에서 예시한 거푸집 재해 유형 및 원인연구, 위험성평가. 관련 법규 개선방안, 공종별 위험도 분석 등 여러 가지 다양하게 이루어지고 있다.

그러나 재해발생률이 많은 거푸집공사에서 발생하는 중대재해에 관한 연구에 치중된 경향이 아주 크다. 공종별로 투입되는 인원을 고려하여보면 철골공사의 위험도가 가장 큰 공종이 되는데 지금까지 철골공사의 재해유형과 원인 규명에 대한 연구는 미흡하다. 기존의 연구에서는 재해의 원인을 추락에서만 한정하는 등 편중된 연구가 대부분이었다.

철골작업은 작업장 전체가 개구부인 공중에서 대형 양중장비에 의해 중량의 선형부재를 취급하는 작업이다. 그러나 철골작업은 필요한 작업 발판이나 가설통로 등 안전시설의 설치나 활용에 제약이 많으며 근로자의 육체적, 심리적 부담도 큰 작업으로서, 추락재해가 빈번하게 발생하고 있는 현실이다.

본 연구는 철골작업의 추락재해방지를 위한 기술적 대책으로서 추락방지설비의 활용상 장애요인과 이에 대한 개선방안을 강구하기 위하여 수행되었다. 이를 위하여 철골작업의 추락, 유발요인, 적용 가능한 추락방지설비의 유형, 관련 안전기준의 적용성, 및 재해사례에 대한 분석과 현장실태조사를 실시하기로 하였다.

연구의 결과 추락방지설비의 효과적 활용을 위해서는 추락방지설비 자체의 성능 개선과 철골작업 조건에 적합한 다양한 기능, 가설자재의 보급이 시급하며, 현장 작업 이전단계에서의 소요부착철물의 제공과 관련 안전기준의 보안 등이 필요한 것으로 나타났다.

거푸집공사에서의 중대재해 발생현상과 그 개선방안을 제시하기 위하여 본 연구에서 2000년부터 2004년도에 국내 건설현장 등에서 발생한 건설의 중대재해 중에 거푸집공사에서 발생한 534건의 재해사례를 조사하여 작업공종과 발생형태별로 재해유형을 분석하고 각 공종별 재해 발생원인을 규명 하였다.

따라서 본 연구에서 철골공사 중 발생하는 재해사례를 바탕으로 공종별 재해유형에 따른 원인에 대하여 조사, 분석하였다.

[표 2] 안전 관리에 관련 연구

저 자	연 구 제 목	연 구 내 용
안홍섭 등 (1996)	철골재해 중 추락 재해에 한전 된 연구	건축철골작업의 재해방지를 위한 방안에 관한 연구
이학기 등 (1999)	거푸집재해 및 원인규명	거푸집공사에서 발생하는 중대재 해의 유형 및 원인에 관한 연구
이학기 등 (2000)	건설 중대재해의 법규개선 방안	거푸집공사 중대재해의 원인분석 을 통한 관련 법규의 개선방안
김화중 등 (2001)	철골공사 각 공정의 위험도 등급 결정	철골공사 중대재해 분석을 통한 위험성 평가에 관한 연구
오준호 등 (2002)	거푸집공정의 위험성 평가에 의한 안전관리	재해사례 분석을 통한 거푸집 공 사의 효율적 안전관리 방안
김창덕 등 (2004)	보 설치시 재해형태와 재해원인 규명	철골공사 재해다발 공정의 안전 관리를 위한 체크리스트 개발에 관한 연구
이재용 등 (2004)	건축공사 공종별 위험도 분석	건축공사 공종별 위험도에 관한 연구

출처 : 오준호 등, 거푸집 공정의 위험성평가에 의한 안전관리.

2.4 소결

본 연구에서는 건설장비 자동화 및 관제기술 개발에 중점을 두고, 특히 통신이 어려운 건설 현장에서 장비와 디바이스 간의 원활한 통신을 가능하게 하는 스마트 네트워크 기술을 기반으로 한 연구이다.

건설 생산성 50% 향상과 건설 안정성 향상을 목표로 하며, 2025년까지 스마트 기술의 정착과 2030년 건설 자동화 실현을 목표로 하였다.

이를 위해 BIM 기반 스마트 설계와 건설기계 자동화와 관제, 공정과 현장 관리 고도화 등의 개발 핵심 기술을 제시 하였다.

이 논문은 자동화 관련 연구동향 등을 분석하고 중대재해 관련 연구동향을 파악하였으며 이를 바탕으로 기존 연구의 문제점 및 건설자동화에 관련된 연구의 장비 개발 등에 초점이 맞추어져 있어서 실질적으로는 사용도가 낮아질 수 있을 가능성이 있다는 것으로 나타났다.

건설인력난의 대체라는 목적에서 기본의 건설분야의 안전성 향상에 가능성을 제시하고들 있으나 실제로는 어떠한 부분에서의 성능 향상인지를 상황 파악하지 못한 우를 범하고 있다.

기존의 안전관리 연구 내용 중 중대재해에 대한 분석은 대부분이 재해 발생 건수가 아주 높은 거푸집 공사를 중심으로 진행되고 있는 실정이다. 거푸집 공사는 정확성과 정밀성도 요구되지만 작업자의 기능 정도에 따라서 안전 사고의 원인이 될 수도 있다는 견해도 있다. 실제로 거푸집 공사의 절대 재해 수는 높다고는 하나 이것은 투입인원이 높음으로(타 공종에 비하여)인하여 발생하는 것으로 중대 재해 율에 따른 분석이 꼭 필요하며, 이것을 통한 관리 방안 또한 제시가 필요하다고 본다.

Ⅲ. 철골공사 분석

3.1 개 요

철골 공사의 경우, 건설구조물의 대형화 추세에 따라서 전반적으로 그 비중이 계속 높아지고 있는 공종으로서 재해발생비율이 151건(8.2%)를 나타내었으며, 재해예방 측면에서는 사전안전계획 및 안전 조치가 건설 현장에서의 안전에 미치는 영향력이 매우 높게 나타난 공종이다.

1999년 이후로 점차적으로 재해빈도수는 줄어드는 것으로 나타나고 있지만 이는 과거에 비해서 철골공사의 사전안전계획 중요성과 선 조치 후 철골 공사진행이 점진적으로 이루어지고 있기 때문이라 생각이 된다.

오늘날 건설산업은 자본의 축적 및 기술력 등의 증가에 따라 건축물들이 지속적으로 대형, 고층화 되고 있으며, 복잡한 구조물 축조 등이 급격히 증가함으로 큰 인성을 가진 철골구조물들이 나날이 증가하고 있다.

이러한 건설산업에서의 변화로 인하여 과거에 대부분의 공사는 철근 콘크리트공법에 의하여 이루어졌던 것과 달리 최근에는 철골공법의 사용량이 크게 증가하였고, 이러한 철골공사는 시공성의 편리함과 용이함, 또한 부족한 자원의 확보차원에서 지속적으로 증가 할 것으로 예상되어진다.

또한 고층건축공사 현장 등에서는 철골과 철근콘크리트 공법을 동시에 적용하는 공사 등이 일반적 건축공사에서 철골공사의 합리적인 공정계획, 관리가 사업 성공에 큰 영향을 미치고 있다.

그러므로 철골공사 생산성의 향상을 위한 다각적으로 노력이 필요하며 그 결과를 새로운 계획과 관리에 적용시켜야 한다. 이에 따라 철골공사에서 발생하는 재해사례가 지속적으로 증가하고 있는 실정이다.

2015년부터 2023년 고용노동부 에서 조사한 건설 중대재해 발생건수1195건 중, 사망, 사고 건수1242명중 광업(10건) 10명(0.8%) 제조업(328건) 341명(27.45%) 전기, 가스, 증기 및 수도사업(10건) 10명(0.8%) 건설업(625건) 644명(51.85%) 운수, 창고 및 통신업(34건) 34명(2.73%) 임업(14건) 14명(1.12%) 어업(10건) 10명(0.8%) 농업(21건) 22명(1.8%) 금융 보험업(0건) 0

명(0%) 기타의 사업(143건) 157명(12.64%) 산업재해 재해 발생건수에서 가장 높은 공종이 건설업이다.

건설업은 2015년부터 2023년까지 재해 발생건수 1195건 중 사망자 수가 644명으로 (51.85%)에 해당하며 산업재해 현황에서 제조업보다 가장 높은 사망자 수를 차지하고 있다.

1997년 ~ 2006년까지 한국산업 공단에서 조사한 건설 중대재해 1,982건 중 발생공종별 재해분류 결과 철골공사 발생건수 151건(8.2%)로 나타내고 있으며, 건축 거푸집공사(12.5%)와 전기통신공사(12.0%) 그리고 가설공사(8.7%) 순으로 재해발생건수가 높은 공종으로 나타나고 있는 실정이다.

철골공사가 다른 공종의 작업에 비하여 적은 인원으로 이루어지는 작업임을 감안한다면 타 직종에 비해 높은 위험지수를 가지고 있는 공종이라 할 수 있다. 하지만 철골공사가 재해사례를 중심으로 하는 발생 원인에 따른 정확한 규명이 이루어지지 못하고 있는 관계로 철골공사는 재해의 근본원인을 규명하여 이를 방지하기 위하여 다른 대책의 수립이 요구되고 있다.

철골공사에서 원활한 공사는 주 공정(Critical Path)에 작용하는 철골설치 공정의 효율적인 관리에 달려있겠다. 그러나 실제 현장에서는 첨단공법(자동화)보다는 과거의 시공경험에 크게 의존하고 있는 것이 현실이다.

또한 기존 관련 선행연구들이 철골공사의 전반적 공정관리기법이나 관리시스템에 의한 이론적인 접근이 대부분이었으며, 현장 데이터의 기초하는 분석보다는 설문에 의한 연구가 많아서 이런 결과들을 현장에서 바로 이행하기는 매우 어려운 실정이다.

따라서 본 장에서 건설 중대재해의 실제 사례 조사 분석함으로써 재해의 유형의 발생원인을 규명하고 철골공사의 재해를 방지하기 위한 기초자료를 제공하는 것을 목적으로 한다(이지용 등, 2008).

[표 3] 최근5년 사망사고발생건수 및 사망자수 (건.명)

구분	2019년4분기		2020년 4분기		2021년 4분기		2022년 4분기		2023년 4분기	
	전 체 사 망 자 수	사 자 수	전 체 사 망 자 수	사 자 수	전 체 사 망 자 수	사 망 자 수	발 생 건 수	사 망 자 수	발 생 건 수	사 망 자 수
총계	2,020건	855명	2,062건	822명	2,080건	828명	611건	644명	584건	598명
광업	건	명	건	명	건	명	9건	9명	1건	1명
제조업	건	203명	건	201명	건	184명	163건	171명	165건	170명
전기.가스 수도사업	건	명	건	명	건	명	3건	3명	7건	7명
건설업	건	428명	건	458명	건	417명	328건	341명	297건	308명
운수.창고 통신업	건	명	건	명	건	명	17건	17명	17건	17명
임업	건	명	건	명	건	명	7건	7명	7건	7명
어업	건	명	건	명	건	명	9건	9명	1건	1명
농업	건	명	건	명	건	명	7건	8명	14건	14명
금융.보험	건	명	건	명	건	명	0건	0명	0건	0명
기타.사업	건	224명	건	163명	건	227명	68건	79명	75건	73명

출처 : 고용노동부, 『산업재해 현황분석』.

2020년 산업재해로 인하여 사망한 전체 사망자수는 2,062명 이었으며, 이 중 사고사망자는 822명으로 집계 되었고, 사망자수(2019년 대비27명 증가).

2021년 산업재해로 인하여 사망한 전체 사망자수는 2,080명으로, 사고 사망자수는 828명으로 집계 되었으며, 건설업과 제조업에서 전체 사망자의 70%이상이 발생하여 건설업(50.3%). 제조업(22.2%). 꾸준히 사망자수가 증가하고 있는 실정입니다.

2022년 사망자수 644명 중 건설업(52.9%) 341명이며, 2023년 사망자수 598명 중 건설업(51.5%) 308명으로 집계 되었습니다.

이는 다른 업종이 비하여 매년 사망자수가 늘어나는 아주 위험한 직업이라 할 수 있겠습니다.

3.2 분석 범위 및 방법

본 연구는 최근의 5년간 (2015년부터 2019년) 국내건설업 사고사망자는 2천355명이었다. 이중 철골공사에서 발생한 사망자 수는 284명으로 전체의 12.1%를 차지하였다.

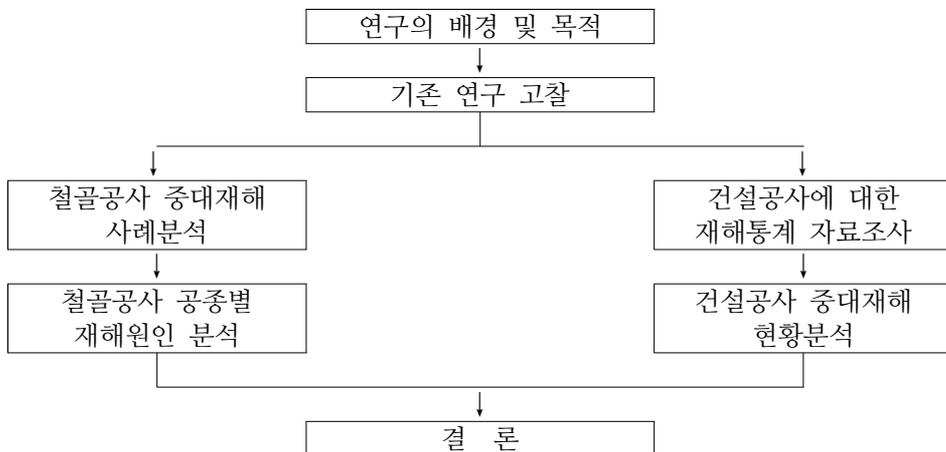
건설 중대재해 중 철골공사에서 발생한 284건을 대상으로 재해사례를 통해 각 공종별 주요 재해유형 및 발생 원인을 규명하는 것을 연구주제의 범위로 하여, 연구의 수행절차와 방법은 다음과 같다

첫째: 건설안전과 철골공사에 관련 기존의 참고문헌 및 논문, 보고서, 전문가 인터뷰 등을 통해 철골공사의 안전에 대한 이론적 내용 및 건설공사의 재해발생 현황에 대하여 중점을 두었다.

둘째: 2015년부터 2019년까지 5년 동안 국내 건설현장 등에서 발생한 건설 중대재해에 대해 실제사례를 발생 공종별로 조사하여, 그 중에서 철골공사에서 발생한 재해사례를 작업 공종별과 발생원인 형태별로 분석 연구 한다.

셋째: 철골공사의 중대재해사례를 세부 공종별 재해유형에 따른 원인에 대해 조사, 분석 검토하여 철골공사 중의 사고발생 방지를 위한 기초적 자료를 제시 한다.

[그림 1] 연구의 방법



3.3 건설공사의 재해유형 분석

3.3.1 빌딩공사의 재해현황 분석

3.3.2 빌딩공사의 정의

빌딩공사의 정의는 백과사전의 “일반적으로 건물, 가옥을 뜻하나” 특히 한국에서는 사무실용의 철근 콘크리트구조 또는 철골구조 등에 의하여 중층 이상 대형 건축구조물을 말한다. 또 이 밖의 큰 규모의 호텔, 은행, 병원, 학교, 주거용 건축물 등을 빌딩이라 하기도 한다.“ 한국산업안전공단의 중대재해 사례 보고집”의 사고분류 형태 즉, 1994~2000년 까지는 공사 종류별 중대재해로써 재해를 주택, 아파트, 학교 및 근린생활, 공공건물, 빌딩, 도로, 호텔, 백화점, 공장, 창고, 발전소, 지하철, 철도, 항만, 터널, 전기 등으로 분류와 2000~2002년은 건설부분 각 공종에서 사고유형(붕괴, 추락, 도괴, 협착, 낙하, 비레, 감전, 전도, 충돌 등)으로 나누어져서 정리된 것을 토대로 하였다.

즉, 빌딩에 관한 사전적 의미와 재해분석에 틀이 되어지는 한국산업안전공단에 재해사례집을 분석한 결과로 빌딩공사는 주로 건축공사를 뜻하므로 건축공사로 분류하여 진행하였다.

3.3.3 빌딩공사 재해현황 분석

지난 11년(2013~2023년)간 한국산업안전공단에서 중대재해 사례 보고집을 분석한 결과로 국내에서 발생했던 건설재해 건수는 71,750건이고 이 중 건축공사에서 발생되어진 중대재해 건수는 21,980건으로 이는 전체 건설재해의 30.6%를 차지한다. <표 4> 에서 나타난 바와 같이 매해 발생하는 건축공사 재해 비율 등이 차이는 있으나, IMF 이후 약 30%~40% 정도 되는 발생 비율을 나타내어지고 있다. 이는 우리나라의 경우에 건축공사가 노무인력 중심 생산 활동을 하고 있고, 전체 재해 중에서 건축공사가 차지하는 비중이 토목공사에 비해서 높기 때문인 것으로 판단된다.

[표 4] 빌딩공사 재해발생 현황

년도	전체건설 재해건수	빌딩공사 재해 발생건수	비율(%)
2023	7,200건	2,200건	30.6
2022	7,050건	2,150건	30.5
2021	7,100건	2,200건	31.0
2020	6,900건	2,100건	30.4
2019	6,800건	2,050건	30.1
2018	6,600건	2,000건	30.3
2017	6,400건	1,950건	30.5
2016	6,200건	1,900건	30.6
2015	6,000건	1,850건	30.8
2014	5,800건	1,800건	31.0
2013	5,700건	1,780건	31.2
합계	71,750건	21,980건	30.6

출처 : 한국 산업안전공단 중대재해사례 보고.

3.3.4 빌딩공사 공정별 중대재해 발생현황'

빌딩공사의 재해사례 중에서 < 표 5>는 한국산업안전공단 중대재해 사례에 따른 빌딩공사에 발생한 공종별 중대재해 건수와 그에 따르는 중대재해 발생비율들을 보여주고 있고, 1,635건의 중대재해 중에 거푸집 공사현장에서 285건으로서 가장 높은 비율인 17.4% 그 다음으로 가설공사가 11.6% 철골공사 11.0% 석, 외벽공사 7.0% 그리고 설비공사에서 6.3%의 비율로 중대재해가 발생되었다. 위와 같이 빌딩공사의 경우 건설공종별들로 매우 상이한 작업형태와 재해 특성을 나타내고 있는 바 각 특성에 적합한 안전관리 대책이 필요하다.

즉, 본 공사 이전의 준비공사 단계인 거푸집공사, 가설공사에서 29.0%의 재해가 발생하였고, 공사 진행 단계에서 사전공사 안전계획 과 대책이 필요한 철골공사 등을 포함하면 이와 같은 본 공사 이전 단계에서의 공사에서 재해의 비중은 40% 의 특성을 나타내고 있다.

그러므로 건설공사 안전대책 수립을 위해서 공사 종류별 필요한 안전 정보 및 각 공종에 대한 위험 정도에 따라서 적절한 안전관리의 중요성을 인식할

수 있도록 건설공사 공종별 재해특성상 이에 따른 분석이 필요하다.

[표 5] 빌딩공사 공정별 중대재해발생 현황

공종 \ 재해발생	중대재해 발생건수	중대재해 발생비율(%)	사고발생 순서
거푸집공사	285건	17.4%	1
가설공사	190건	11.6%	2
철골공사	180건	11.0%	3
석/외벽공사	115건	7.0%	4
토공사 및 기초공사	100건	6.1%	5
설비공사	103건	6.3%	6
콘크리트공사	90건	5.5%	7
미장, 견출, 타일공사	88건	5.4%	8
양중작업	75건	4.6%	9
도장공사	60건	3.7%	10
철근공사	53건	3.2%	11
기타	46건	2.6%	12
E/V 공사	42건	2.6%	13
전기(통신)공사	39건	2.4%	14
유리 및 창호공사	38건	2.3%	15
조적공사	24건	2.0%	16
작업 외 이동	33건	2.0%	17
방수공사	27건	1.6%	18
해체공사	21건	1.3%	19
수장공사, 금속, 잡철물공사	16건	0.9%	20
단열공사	7건	0.4%	21
커튼월공사	3건	0.1%	22
합계	1,635건	100%	

출처 : 한국 산업안전공단 중대재해사례 보고.

빌딩공사의 직종별로 중대재해 건수 및 발생 순서를 알아보면 공종분류가 불가능한 보통인부 가 총 1,635건 중에 가장 많은 (229명)으로 나타났고, 다음으로는 형틀목공(199명)과 비계공(142명), 미장공(98명) 그리고 철골공(85명)순으로 나타났다. 이는 보통인부 등을 제외하곤 각 작업공종 중에 재해가 높은 공종 순으로 관련된 직종별로 재해가 발생하였다.

그러므로 빌딩공사 작업 중에 중대재해 발생이 높은 공종일수록 관련되는 작업인원이 중대재해 발생율이 높고 그만큼 위험도가 높다고 할 수 있다.

[표 6] 빌딩공사 직종별 중대재해건수 및 재해발생 순서

직종	재해 건수	재해발생 순서	직종	재해 건수	재해발생 순서
보통인부	229건	1	작업반장	20건	23
형틀목공	199건	2	직원	20건	23
비계공	142건	3	토공	19건	25
미장공	98건	4	타일공	18건	26
철골공	85건	5	운전원	18건	26
목공	74건	6	장비기사	16건	28
도장공	68건	7	할석공	15건	29
용접공	66건	8	토목공	14건	30
전공	57건	9	E/V 공	13건	31
조적공	45건	10	금속공	7건	32
샷, . 창호공	44건	11	해체공	6건	33
배관공	42건	12	현장소장	5건	34
철근공	41건	13	도배공	4건	35
콘크리트타설공	40건	14	코킹공	4건	35
판넬공	39건	15	중기공	4건	35
기타	33건	16	타워설치공	3건	38
설비공	33건	17	기와공	3건	38
방수공	33건	18	크레인기사 및 보조원	2건	40
기계공	31건	19	내장공	2건	40
견출공	28건	20	직영반장	1건	42
석공	24건	21	리프트설치공	1건	42
유리공	23건	22	소계	195건	
소계	1,474		합계	1,669	

출처 : 한국 산업안전공단 중대재해사례 보고.

3.3.5 빌딩공사 공정의 분류

빌딩공사에서 각 공종은 (Work Type) 건설교통부 제정한 ‘건축공사 표준시방서’의 공종분류표 및 KOSHA Code에 의거해 기본적으로 분류하였고, 분류된 빌딩공사의 각 공종들은 세부적인 작업 내용에 의해서 대, 중, 소로 다시 분류하였다. <표 7>은 KOSHA Code 및 건축공사 표준시방서에 제시한 각 공종의 대분류는 16개로 분류되었고, 중분류는 75개로 분류되어 있는 반면, 건축표준 시방서의 경우, 대분류는 22개의 공종으로 분류되어 있으며, 중분류는 총74개로 분류되어 있다. KOSHA Code 및 건축공사 표준시방서에서 제시되어진 대분류는 대부분 중복되는 항목 등으로 이루어져 있으나, KOSHA Code에 비하여 건축공사 표준 시방서에서는 6개의 공종을 더 많이 제시하고 있어, 비교적 분류항목들이 세분화되어 있음을 알 수 있다.

연구의 분석대상인 빌딩공사에서 발생되어진 중대재해를 더욱 세분화하여 분석하기위하여 빌딩공사의 공종을 16개 공종 외에 양중작업, 커튼월공사, E/V공사, 단열공사, 해체공사, 기타작업 및 작업 외 이동 등의 공종을 포함하여 분석하였다.

이와 같이 새롭게 분류 된 7개 공종이 전체 재해 중 차지하는 비율은 13.2% 정도로 양중작업, 기타작업, 작업 외 이동, 해체공사 순으로 발생빈도가 나타났다.

[표 7] 공정 분류표 비교 분석표

KOHSА	건축공사 표준시방서
(공통) 가설공사	가설공사
토공사 및 기초공사	토공사
철골공사	철골공사
철근공사	철근콘크리트공사
콘크리트공사	
방수공사	방수공사
조적공사	벽돌공사
	블럭공사
미장, 견출, 타일공사	미장공사
	타일공사
석/외벽공사	돌공사
유리 및 창호공사	유리공사
	창호공사
수장(내장)공사 및 금속, 잡철물공사	수장공사
	금속공사
도장공사	칠공사
설비공사	커튼월공사
	플라스틱공사
전기(통신)공사	조경공사
	단열공사
거푸집공사	해체공사
	목공사
기타공사	기타공사
16공정	22공정

출처 : 한국 산업안전공단 중대재해사례 보고.

3.3.6 산업안전보건법 관련 건설 중대재해발생 현황

건설 중대재해의 발생현황에 관한 조사결과 건설공사 재해 예방을 위한 국가적 차원의 노력으로 인해 전체 재해자 수는 점차 감소하고 있지만, 건설공사 재해로 인한 사망률은 점점 늘어나는 추세로 보이고 있는 실정이다.

공사규모별로는 1억원 미만인 경우가 가장 많았다. 이어서 1억~3억원, 3억~10억원 미만 그리고 10억~20억 미만, 20억~50억원 순이었다. 특히 20억 미만 소규모 현장이 사망자 전체의 77%를 차지했다.

중대재해의 정의는 다음과 같다. (산업안전보건법 시행규칙 제2조 : 정의).

- (1) 사망자가 1인 이상 발생한 재해.
- (2) 3개월 이상의 요양을 요하는 부상자가 동시에 2인 이상 발생한 재해.
- (3) 부상자 또는 직업성 질병자가 동시에 10인 이상 발생한 재해.

[표 8] 근 5년간 철골공사 관련사고 사망자 (단위 :명)

구분	건설업	철골작업
합계	2,355명	284명
점유율	100%	12.1%

출처 : 매일노동뉴스, 2024-12-22.

[표 9] 공사규모별 최근 5년간 철골공사 관련사고 사망자 (단위:명)

총합계	1억원 미만	1~3억원	3~10억원	10~20억원	20~50억원	50~120억원	120~1000억원	1000억원 이상
284명 (100%)	102명 (35.9%)	52명 (18.3%)	47명 (16.5%)	19명 (6.7%)	33명 (11.6%)	16명 (5.6%)	14명 (4.9%)	1명 (0.4%)

* () 은 점유율

출처: 매일노동뉴스, 2024-12-22.

3.3.7 작업 공종별 재해발생현황

‘1997년’에서 ‘2006년 8월’까지 10년간 국내 건설공사 현장 등에서 발생한 건설 중대재해의 작업 공종에 의한 조사결과 전체 조사대상의 1,844건의 건설재해 중 82%인 151건이 철골공사 중에 발생한 것으로 나타나서 전체 공종 중 거푸집공사(12.5%)와 전기통신공사(12.0%)와 가설공사(8.7%) 다음으로 재해의 발생건수가 높은 공종으로 나타나고 있다고 한다.

위의 4가지 공종 중에 철골작업에 소요되는 인원은 가장 적은 점을 감안한다면 위험성은 크게 달라진다. 공종별 투입인원에 대한 위험지수 산정기준은 기존에 건설 중대재해 사례를 토대로 하여 각 공종의 소요인력(%)은 대한주택공사 주택공사비 분석 자료 내용에 있는 15층 아파트 기준의 건설공사 직종별 평균 소요인력 구성 비율을 참고했고 위험지수는 [식 1] 과 같이 중대재해 발생 건수를 소요인력으로 나눠 계산하였다.

$$\text{위험지수} = \text{중대재해발생비율/소요인력구성비} \quad [\text{식 1}]$$

[식 1]과 같이 계산했을 경우, 단위 소요인력에 대하여 지금까지의 재해발생건수가 산출되었고, 이와 같은 단위소요인력에 따른 발생건수가 실제 안전사고가 발생케 할 수 있는 가능성을 나타내기에 이를 제시하였다.

표4는 분류한 17개 공종에서 필요한 인력 수는 대한주택공사의 자료를 토대로 구성한 것이다. 위와 같은 구성 요건은 건설현장에 각 공종에 대하여 투입인원수가 매우 상이하여서 객관성 있는 공사인원에 대해서 자료를 취득하기가 곤란하여 가장 객관성이 있다고 판단되는 소요인력 작업 등에 대한 자료를 정리한 것이다.

출처 : 고성석, 송혁, 이재용, 건축공사 공종별 위험도에 관한 연구 2004.

[표 10] 직종별 소요인력 구성 비율

구분	직종	소요인력 구성 비율 (%)
거푸집공사	형틀목공, 건축목공	17.63(%)
전기통신공사	통신케이블공, 전공	10.52(%)
가설공사	비계공, 보통인부	5.37(%)
철골공사	철골공, 철공, 용접공	1.32(%)
콘크리트공사	콘크리트공	1.01(%)
해체공사	운전사 (기계)	1.01(%)
도장공사	도장공	2.03(%)
철근공사	철근공	4.55(%)
설비공사	배관공, 위생공, 용접공	7.64(%)
토공사 및 기초공사	건설기계운전기사, 포장공	1.46(%)
양중작업	건설기계운전조장, 기사, 조원	1.35(%)
미장.건축.타일공사	미장공, 타일공	5.22(%)
석. 외벽공사	석공, 연마공	1.66(%)
수장공사	도배공, 내장공	2.82(%)
유리. 창호공사	샷시공, 유리공	1.91(%)
방수공사	방수공	1.48(%)
조적공사	조적공	0.96(%)
기타		

출처 : 대한주택공사 주택공사비 분석자료 2005.

소요인력에 대한 자료를 바탕으로 표 11 에서 보는 바와 같이 지난 10년동안 건축공사 등에서 발생한 중대재해건수에 대한 각 공종별로 투입되는 소요인력구성비율 등을 고려하여 위험지수를 나타낸 결과로 철골공사의 위험지수가(7.77)로 가장 높게 나타났다.

다음으로 토공사 및 기초공사(6.0) 콘크리트공사(5.75) 해체공사(5.50) 양중작업(5.15) 가설공사(2.02) 의 순으로 산정되어 분류할 수 있다.

반면 설비공사(0.97) 철근공사(0.96) 거푸집공사(0.85) 수장공사(0.84)순으로 위험지수는 1 미만으로 나타나서 비교적으로 위험도가 낮은 공종으로 분류할 수 있다.

특이한 것은 10년 (2014-2023) 간 발생한 총 재해건수 (1,844) 중 가장 높은 비율을 차지하였던 거푸집공사(1,130) 건의 경우 위험지수가 (0.85)로 나타났다. 이것은 거푸집 공사에 투입되는 인원이 다른 공종에 비하여 매우 많기 때문에 중대재해 건수에 비하여 위험도가 낮게 나타난 것으로 사료된다. 또한 기타공사의 위험지수 등은 작업소요 인원의 불확실한 자료로 인해서 분석에서 제외되었다.

[표 11] 중대재해사례와 소요인력에 따른 위험지수

공종 \ 재해발생비율	중대재해 발생건수	중대재해 발생비율(%)	소요인력 구성비율(%)	위험지수
거푸집공사	1,130건	13.9%	18.6%	0.85
전기통신공사	950건	11.6%	11.5%	1.21
가설공사	860건	10.5%	6.9%	2.02
철골공사	780건	9.4%	2.7%	7.77
콘크리트공사	530건	6.3%	2.6%	5.75
해체공사	510건	6%	2.6%	5.50
도장공사	280건	3.1%	3.4%	1.80
철근공사	340건	3.9%	6%	0.96
설비공사	590건	7%	9.2%	0.97
토공사, 기초공사	1650건	7.8%	2.8%	6.0
양중작업	520건	6.1%	2.7%	5.15
미장, 견출, 타일공사	400건	4.6%	6.4%	1.04
석, 외벽공사	230건	2.5%	3.1%	1.76
수장공사	190건	2%	6.1%	0.84
유리, 창호공사	180건	1.8%	2.9%	1.53
방수공사	110건	0.9%	2.4%	1.40
조적공사	70건	0.4%	2.3%	1.00
기타	200건	2.2%	7.8%	0.52
합계	7,890건	100.0%	100.0%	

출처 : 대한주택공사 주택공사비 분석자료, 2014~2023

3.4 철골공사의 재해유형 분석

철골건립 프로세스는 일반적인 철골 건립과정은 앵커볼트 설치와 기둥세우기, 보설치와 바로잡기, 가조립, Plumbing Check, 볼팅/용접, Deck Plate로 한절이 건립되고 나서 다음절이 건립되게 된다.

[그림 2] 골건립 프로세스



출처 : 김창덕 외 3명, 철골공사 재해다발공종의 안전관리를 위한 체크리스트 개발에 관한 연구 2004.

3.4.1 작업공종별 분석

2014년에서 2023년 사이 국내 철골공사 현장 등에서 발생한 중대재해 사례를 표 12와 같은 작업공정별로 분석한 결과로 전체 조사대상 780건의 중대재해 사고에서 56건(37.1%)이 보 설치작업 중 발생한 것으로 나타나 다른 공종에 비하여 가장 높게 나타났고, 고장력 볼트, 본체결 작업에서는 (23.2%) Deck Plate 작업에서는 (21.2%)가 발생한 것으로 나타나고있다. 따라서 철골공사 중에 보 설치작업이 가장 위험한 공종이며, 가장 안전한 공종은 앵커볼트 설치 작업이다.

[표 12] 업공종별 분석

작업공종	빈도	구성비 (%)
앵커볼트 설치	4	2.6%
기둥세우기 작업	16	10.6%
보 설치작업	56	37.1%
고장력볼트 본체결작업	35	23.2%
용접 작업	8	5.3%
Deck Plate	32	21.2%
계	151	100.0%

출처 : 김창덕 외 3명, 철골공사 재해다발공종의 안전관리를 위한 체크리스트 개발에 관한 연구 2004.

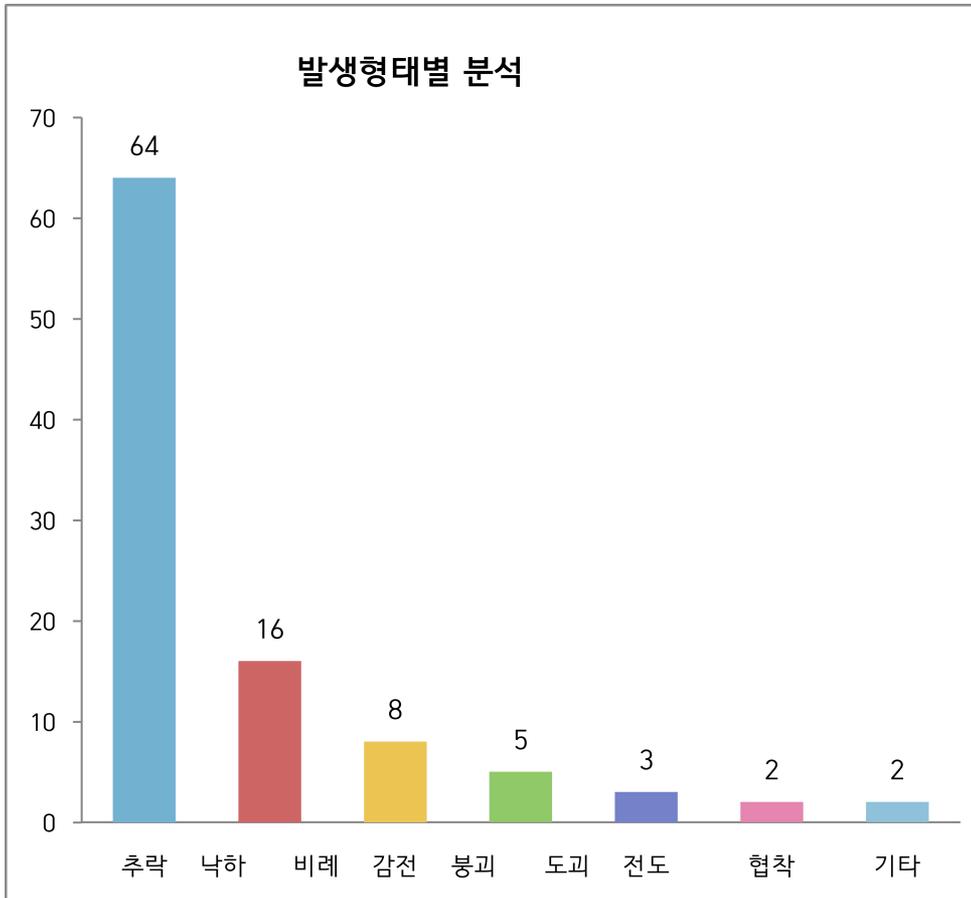
3.4.2 발생 형태별 분석

철골공사의 중대재해 사례를 발생 형태별로 분석한 결과로, 추락사고가 전체 중대재해 사례 780건 중(64.3%)로 나타나 타 사고들에 비해 훨씬 많이 발생하였음을 알 수 있었으며, 낙하, 비레가 24건(15.9%) 전기 감전사고가 12건(7.9%)으로 나타난다. 따라서 철골공사 중에 발생하는 재해는 추락, 낙하, 비레, 전기감전, 붕괴와 도괴, 전도와 협착 순으로 빈도수가 높게 나타났다.

[표 13] 생형태별 분석

구분	추락	낙하 비레	전기 감전	붕괴 도괴	전도	협착	기타	계
발생건수	97건	24건	12건	7건	5건	3건	3건	151건
구성비 (%)	64.3%	15.9%	7.9%	4.6%	3.3%	2.0%	2.0%	100.0%

[그림 3] 발생형태별 분석



출처 : 김창덕 외 3명, 철골공사 재해다발공종의 안전관리를 위한 체크리스트 개발에 관한 연구 2004.

3.4.3 철골공사의 재해발생 원인

2014년에서 2023년 사이(10년간)에 국내 건설공사 현장에서 발생한 철골공사의 중대재해 사례를 세부 공종별 발생 원인에 따라 분석하였다.

철골공사의 중대재해의 대부분 재해는 복합적인 발생 원인에 기인하여 재해가 발생되기 때문에 원인에 따라서 복수로 선정하였다.

추락, 낙하-비레, 전기감전, 붕괴-도괴, 전도, 협착, 기타 등, 으로 발생형태별로 분석 하였다.

3.4.4 커볼트 설치작업

앵커볼트의 종류로는 드래그 앵커, 중력식 앵커, 매설식 앵커, 파일앵커 등으로 구분된다. 공사 재해발생률에 가장 낮게 나타난 앵커볼트 설치작업에서 재해발생 원인은 관리감독자의 감독 미비가 총 5건이고, 기계, 기구 관리미비가 2건으로 각각 나타났다. 앵커볼트 설치작업은 콘크리트 상부 지면에서 이루어지고 있으며, 초기에 일어나는 작업으로 발생 빈도가 낮은 것으로 판단이 되고 있다.

[표 14] 앵커볼트 설치과정에서의 발생원인

항목	발생원인	빈도	계	
			빈도	구성비 (%)
관리감독 미비	작업관리자 미배치	1건	5건	71.4%
	관리감독 소홀	1건		
	점검 소홀	2건		
	출입통제지시 미흡	1건		
기계, 기구 관리미비	감전방지 조치미흡	2건	2건	28.6%

출처 : 김창덕 외 3명, 철골공사 재해다발공종의 안전관리를 위한 체크리스트 개발에 관한 연구 2004.

3.4.5 기둥세우기 작업

표 12에서와 같이 전체 철골공사 재해 10.6%가 발생한 기둥세우기 작업공정에서의 재해발생 원인을 분석한 결과를 보면 작업에 대한 점검을 소홀히 하는 등 관리자에 관리 감독미비로 인한 안전사고가 14건으로 (31.1%) 가장 높게 나타났고, 다음으로는 부적절한 작업방법으로 인하여 발생한 사고가 11건(24.4%) 안전설비가 미설치로 인하여 발생한 사고가

9건으로(20.0%) 나타났다.

철골 기둥세우기 작업 등에서 관리자의 관리감독미비로 인한 사고시 가장 많이 발생한 것은 철골 인양 작업 시 관리자가 건립기계와 인양작업자를 동시에 면밀히 관찰하여야 하며, 크레인 운전자와 작업자 사이에서 정확하고 명확한 통신, 신호 체계를 수립하여서 작업하여야 하는 등 어려움이 많았기 때문인 것으로 판단하였다.

또한 관리자가 양중기계의 훅과 와이어로프 등의 안전상태 점검을 충실히 이행하지 않은 것으로 사료된다.

[표 15] 기둥세우기 공종에서의 발생원인

항 목	발 생 원 인	빈 도	계	
			빈도	구성비(%)
관리감독미비	작업관리자 미배치	3건	14건	31.1(%)
	관리 감독 소홀	2건		
	점검 소홀	6건		
	출입통제지시 미흡	3건		
근로자 과실	개인보호구 미착용 / 착용불량	7건	7건	15.6(%)
안전교육 미흡	안전교육미흡 및 미실시	4건	4건	8.9(%)
부 절적한 작업 방법	작업발판설치불량 및 미설치	6건	11건	24.4(%)
	운반방법 불량	2건		
	장비작업 반경 내 작업	3건		
안전 설비 미비	낙하물 방지망 미설치	3건	9건	20.0(%)
	안전 난간대 부착 미설치	6건		

출처 : 김창덕 외 3명, 철골공사 재해다발공종의 안전관리를 위한 체크리스트 개발에 관한 연구 2004.

3.4.6 보 설치작업

철골공사에서의 재해 발생률이 가장 높게 나타남으로서 가장 위험한 공종으로 판단되는 보설치 작업에 대한 재해 사고발생 원인에 대하여 분석 검토한 결과, 안전 난간대 부착 미설치와 낙하물방지망 미설치 등 안전설비등의 미비로 인한 사고률이 전체 153건 중(42.5%) 가장 높게 나타났으며, 근로 작업자 과실로 인한 사고가(24.2%) 관리 감독자의 감독미비로 의한 사고를 (15.7%)이 나타났다.

따라서 재해 발생률이 가장 높은 철골작업공종 중 보 설치작업의 사고 발생은 관리감독자의 미비, 부적절한 작업 방법, 안전설비미비, 작업근로자 과실, 안전교육 미흡 순으로 나타남을 알 수 있다.

보설치 작업은 작업 특성상 고소작업이 대부분인데, 고소작업에서 철골조립 작업 시 안전대 부착설비(지지로프)를 설치 진행하고 작업에 임하여야 하나 미설치 되있는 현장이 많은 것으로 판단된다.

작업자들이 안전교육을 매일 시켜 주의를 주었음에도 불구하고 안전띠를 착용만하고 안전고리체결을 하지 않고 작업하는 경우도 있다.

1억 미만 현장에서는 감독자의 감독 미비로 인하여 재해발생이 되기도 한다.

또한 추락 위험이 발생하고 있는 높이 2m 이상 철골 보 상부에서의 작업 시 작업발판의 설치가 곤란한 경우 안전망을 보호조치 하거나 작업 근로자에게 안전보호구를 지급하고 착용하게하며, 안전고리체결을 확실하게 하게끔 교육을 시켜야 하나 아직도 작업 현장에서는 실사가 완벽하게 되지 않는 실정이고, 작업 근로자 자신들의 자만으로 관리자의 지침에 따르지 않고 개인행동을 하는 경향이 있어 재해가 발생하는 경우도 있다.

항상 관리 감독자가 상주하면서 작업자들에게 위험 요소를 지적하여주고 안전의식을 강조한다면 재해 발생률이 조금이라도 줄어들 수 있는 효과를 볼 것으로 사료된다.

[표 16] 보 설치작업에서의 발생원인

항 목	발 생 원 인	빈 도	계	
			빈도	구성비 (%)
관리감독 미비	직무소홀	3건	24건	15.7 (%)
	작업관리자 미배치	3건		
	관리감독 소홀	15건		
	점검 소홀	3건		
근로자 과실	작업자배치 부적절	3건	37건	24.2 (%)
	안전의식 결여	6건		
	불안전한 행동	11건		
	개인보호장구미착용/착용불량	17건		
안전교육미흡	안전교육미흡 및 미실시	5건	5건	3.3(%)
부 적절한 작업방법	작업발판설치불량 및 미설치	8건	14건	9.2 (%)
	운반 방법 불량	6건		
안전설비미비	추락방지안전시설 미설치	7건	65건	42.5 (%)
	낙하물방지망 미설치	23건		
	안전대부착설비 미설치	35건		
기계. 기구 관리미비	기계. 기구의 추락위험방지 조치 미흡	3건	3건	2.0(%)
기 타	안전성검토 미실시	5건	5건	3.3(%)

출처 : 김창덕 외 3명, 철골공사 재해다발공종의 안전관리를 위한 체크리스트 개발에 관한 연구 2004.

3.4.7 고장력 볼트 본 체결 작업

철골공사에 고장력 볼트 본 체결 작업현장에서 발생한 사건의 원인에 대한 조사결과로, 안전대 부착설비 미설치와 낙하물방지망 미설치 등 안전설비의 인한 사고가 전체 89건 중에서 44.9%로 가장 높게 나타났으며, 작업근로자의 불안정한 행동과 개인보호구(안전대, 안전모, 안전화, 각반) 미착용 등 작업근로자의 과실로 인한 사고가(27.0%) 작업 발판대 설치불량 등 시공순미비로 서를 준수하지 않는 등 부적절한 시공 작업방법에 의한 사고가(10.1%) 작업근로자들에 대한 교육 미흡으로 인한 사고 (9.0%) 로 나타났다.

기타 사항으로는 고장력 볼트 본 체결 작업 시 갑작 서러운 돌풍으로 인한 작업근로자의 추락 재해 사례는 3건(3.4%)이나 발생하였다. 추락위험이 있는 2m 이상의 고소작업에서 철골조립을 할 경우에는 안전대 부착설비물을 설치하고 안전대를 부착대에 걸고서 작업에 임하여야 한다. 또한 풍속이 초속 10m이상이 되거나, 풍속이 예상될 경우에는 철골작업을 중지시켜야 한다.

[표 17] 고장력 볼트 본 체결작업에서의 발생원인

항 목	발 생 원 인	빈 도	계	
			빈도	구성비 (%)
관리감독 미비	관리감독 소홀	5건	5건	5.6(%)
근로자 과실	안전의식 결여	6건	24건	27.0 (%)
	불안정한 행동	11건		
	개인보호구미착용/착용불량	7건		
안전교육 미흡	안전교육미흡 및 미실시	3건	8건	9.0 (%)
	안전수칙 미준수	5건		
부적절한 작업 방법	작업발판설치불량/ 미설치	6건	9건	10.1 (%)
	시공순서 미준수	3건		
안전설비 미비	추락방지 안전시설 미설치	6건	40건	44.9 (%)
	낙하물방지망 미설치	14건		
	안전대 부착설비 미설치	20건		
기 타	악천후시 작업중지 미실시	3건	3건	3.4(%)

출처 : 김창덕 외 3명, 철골공사 재해다발공종의 안전관리를 위한 체크리스트 개발에 관한 연구 2004.

3.4.8 용접작업

재해발생률이 앵커볼트 설치작업 다음 두 번째로 낮은 용접 작업에서 발생되고 있는 사고의 원인에 대한 조사 결과는 낙하물방지망 미설치와 안전대 부착설비 미설치 등의 안전설비의 미비로 인한 서고가 전체 18건 중에 (50.0%)로 가장 크게 나타났으며, 불안정한 행동을 하는 등 작업 근로자의 과실로 인한 사고가(27.8%), 기계와 기구의 관리소홀로 인한 사고가(22.2%)로 나타나고 있다.

용접작업에서 발생하는 사고의 원인은 타 공종 작업등에 비해 상대적으로 적은 수를 가지는 것으로 나타났다.

또한 용접작업에서 관리자의 관리감독 미비로 인한 사고가 없었던 것은 철골공사 현장의 용접공들 대부분이 숙련된 작업인부들 이기 때문에 해당되어지는 업무를 자율적으로 하는 것으로 판단이 된다.

[표 18] 용접작업에서의 발생원인

항 목	발 생 원 인	빈 도	계	
			빈 도	구성비 (%)
근로자과실	불안정한 행동	5건	5건	27.8(%)
안전설비미비	낙하물방지망 미설치	6건	9건	50.0(%)
	안전대부착설비 미설치	3건		
기계, 기구관리미비	감전방지 미설치	4건	4건	22.2(%)

출처 : 김창덕 외 3명, 철골공사 재해다발공종의 안전관리를 위한 체크리스트 개발에 관한 연구 2004.

3.4.9 Deck Plate 작업

전체 철골공사 재해 중에 21.2%가 발생한 Deck Plate 작업에서의 재해 발생 원인을 분석한 결과, 표 19에서 보시는 것과 같이 낙하물방지 미설치와 안전대부착 설비 미설치 그리고 추락방지 안전시설(난간대 등)의 미설치 등 안전설비가 제대로 갖춰 지지 않아서 생긴 사고가 전체 97건 중에 57.7%로 나타났고, 개인보호 장구 (안전모, 안전화, 안전대) 미착용, 불안정한 행동 등 작업근로자의 과실로 인한 사고율이 (21.6%)로 나타났다. 또한 관리자의 상시 점검 소홀 및 관리감독 소홀로 인한 사고는(9.3%)로 나타났다.

[표 19] Deck Plate 작업에서의 발생원인

항 목	발 생 원 인	빈 도	계	
			빈도	구성비 (%)
관리감독미비	관리감독 소홀	6건	9건	9.3 (%)
	점검 소홀	3건		
근로자 과실	불안정한 행동	7건	21건	21.6 (%)
	개인보호장구미착용/ 착용불량	14건		
안전교육 미흡	안전교육미흡 및 미실시	3건	3건	3.1(%)
부 적절한 작업방법	시공순서 미준수	2건	2건	2.1(%)
안전설비 미비	추락방지안전시설 미설치	13건	56건	57.7 (%)
	낙하물방지망 미설치	26건		
	안전대부착설비 미설치	17건		
기타	안전성검토 미실시	6건	6건	6.2(%)

출처 : 김창덕 외 3명, 철골공사 재해다발공종의 안전관리를 위한 체크리스트 개발에 관한 연구 2004.

3.5 중대재해 사례의 종합적 분석

2014년에서 2023년까지 10년간 국내 건설공사 현장 등에서 발생한 철골공사의 중대재해 사례를 발생원인별로 분석해본 결과로, 안전설비장치가 제대로 갖추어져 있지 않아서 발생되어진 사고가(43.8%) 가장 높게 나타났고, 작업 근로자 과실로 인한 사고 발생률이(23.0%) 관리자의 관리 감독자의 미비로 발생한 사고가(13.9%)로 나타났다.

[표 20] 철골공사 재해 발생원인

항 목	빈 도	구성비 (%)
관리감독 미비	57건	13.9(%)
작업 근로자과실	94건	23.0(%)
안전교육미흡	20건	4.9(%)
부 적절한 작업방법	36건	8.8(%)
안전설비 미비	179건	43.8(%)
기계, 기구 관리미비	9건	2.2(%)
기타	14건	3.4(%)
계	409건	100(%)

출처 : 김창덕 외 3명, 철골공사 재해다발공종의 안전관리를 위한 체크리스트 개발에 관한 연구 2004.

3.5.1 안전설비의 미비

안전설비의 미비로 인해 발생한 179건의 사고에 세부원인에 대하여 분석한 결과, 안전대부착 미설치에 따른 사고가 81건(43.8%)으로 나타났으며, 낙하물방지망 미설치에 관한 사고율이 72건(40.2%)으로 나타났다.

안전의 중요성을 소홀로 인하여 개구부 및 계단난간, E/L실 등 안전대 부착 및 미설치로 인한 재해사고 사례로 나타낸 수치입니다.

따라서 이 두 가지 항목들에 철골공사의 각 공종에서 안전설비장치의 미비로 인하여 발생한 사고의 주요 원인으로 판단된다.

3.5.2 작업근로자과실

작업근로자의 과실에 의한 94건의 사고의 세부원인에 대해 조사, 분석한 결과 안전모, 안전화, 안전대, 등 개인 보호장구 미착용/ 착용 불량에 따른 사고가 45건(47.9%)으로 나타났으며, 작업근로자의 불안정한 행동에 따른 사고가 34건(36.2%)으로 나타나고 있다. 안전 불감증으로 인한 안전사고 이다.

따라서 이 두 항목이 작업근로자 과실로 인하여 발생하는 주요 원인임을 알 수 있었다.

3.5.3 관리감독 미비

관리자 관리감독미비로 인해 발생한 57건의 사고의 세부원인에 대하여 분석한 결과 관리자의 관리감독 소홀건은 29건(50.9%)으로 가장 높게 나타났고, 공사 중 여러 가지 각종 점검 소홀건은 14건(24.6%)으로 나타났다.

출처 : 임현호, 안전성 및 생산성을 고려한 자동화 요구도 지수의 개발 2008.

3.6 소결

2014년부터 2023년까지(10년) 국내 건설현장에서 발생한 건설 중대재해 7,890건 중 철골공사에서 발생한 780건의 재해사례를 바탕으로 각 공종별 재해유형과 발생 원인을 규명하고자 실시한 연구의 결과는 다음과 같다.

(1) 최근 5년간의 건설 중대재해 발생현황 조사결과에 따르면 전체 재해자의 수는 전반적으로 감소 추세이나 건설재해로 인한 사망률은 증가하는 추세이다.

(2) 지난 10년 사이의 건축공사 중에 발생한 중대재해 건수에 대한 각 공종별로 투입되어지는 소요인력구성 비율을 고려하여 위험지수를 검토한 결과, 철골공사의 위험지수가(7.77%) 로 가장 높게 나타났다.

(3) 작업공종별로 분석한 결과 전체 조사대상 780건의 중대재해 사고 중 56건(37.1%)이 보설치 작업 중에 발생한 것으로 나타나 타 공종에 비하여 가장 높게 나타났고, 고장력볼트 본 체결작업에서(23.2%)와 Deck Plate 작업에서는 (21.2%)가 발생한 것으로 나타났다.

이로 인하여 철골공사 중 보 설치 작업이 가장 위험한 공종이며, 가장 안전한 공종은 앵커볼트 작업이다.

(4) 철골공사에서 중대재해사례를 발생형태로 분석한 결과로 추락사고(64.3%)로 가장 많이 발생했고, 낙하, 비레, 감전, 붕괴, 도괴 순 이었다.

(5) 철골공사의 재해발생 원인에 대해 분석한 결과, 안전설비의 미비로 인하여 일어난 사고(43.8%)가 가장 높게 나타났으며, 작업 근로자 과실로 인한 사고와 관리자의 관리감독미비로 인하여 나타난 사고의 순으로 높게 나타났다.

철골공사는 건축물의 안정적인 지지, 빠른 시공, 뛰어난 내구성 및 유연성 때문에 아주 중요합니다. 철골구조는 강철 기둥과 보로 골조를 만들어 하중을 효율적으로 분산하며, 공장에서 부재를 사전제작 후 현장에서 조립하기 때문

에 공사 기간을 단축할 수 있으며, 또한 철골은 강도가 높고 연성이 뛰어나 지진 등 외부 충격에 잘 견디며 건물의 용도에 따라 다양한 형태로 설계하고 추후 해체 및 재활용이 용이하다는 장점도 있습니다.

이상과 같이 철골공사의 중대재해 유형 및 원인 분석에 관한 연구 내용을 바탕으로 하여 향후 철골공사의 전반적인 재해 예방대책 및 구체적인 개선안 수립에 대하여 연구를 계속 지속되어야 할 것이며, 본 연구를 기반으로 하여 철골공사에 전반적이고 체계적인 생산성 자료의 축적과 분석을 통한 데이터베이스가 구축이 되어 철골공사를 계획하고, 설치하고, 관리하는데 유용하게 사용되어 질 것으로 기대한다.

본 연구에서 철골세우기의 생산성에 영향을 미치는 요인을 선정하여 추가요인에 대해 분석하는 지속적인 노력이 필요하다.

IV. 자동화 시스템에 대한 조사

4.1 개 요

건설 자동화는 최근 관심의 대상이 되어 지고 있다. 콘크리트 미장 로봇 등을 비롯하여 철골 용접 로봇 등의 각종 단종 공사용 로봇들은 그 개발에 있어서 로봇 기술의 발전과 맥을 같이하고 있다.

상기 연구들은 새로운 시도 또는 새로운 기술의 접목 등으로 요약 할 수 있는데, 현재의 건설 산업은 이러한 것들보다는 필요한 곳에서의 활용이 더욱 중요한 형편이다.

이러한 각종 공종에서의 건설 자동화에 대한 필요성을 평가하는 방안의 제시가 아쉬운 실정이다.

건설자동화는 건설업계의 기능 인력난 해소 및 3D 산업의 이미지를 쇄신하는 성장 동력으로 인식되어 왔으며(김영석 외 2001). IT및 로봇 등을 적용한 하이브리드 복합기술 등으로 더욱 가속화 될 전망이다(이준복 2007).

최근 국내에서도 단일 공정 또는 부분 작업을 위한 자동화 장비 개발을 넘어서 건물 구조체의 시공 자동화 시스템 개발을 위한 연구가 진행되고 지고 있다. 최근에 와서는 일본의 SMART 시스템(Shimizu, 1993)과 같은 공사 전반에 걸친 시공 자동화시스템에 관련된 연구가 진행되어지고 있다.

이러한 건설 자동화시스템의 실현을 위해서는 자동화 장비의 작동 및 제어와 관련된 핵심 요소기술의 개발뿐만 아니라 자동화에 적합한 설계(Design for automation: 이하 DFA)가 병행되어야 한다.(A, Scott Howe, 2000). 특히 DFA는 부재 설계 변경 외에도 자동화 장비로 대체되어지는 작업의 선, 후행 공정의 개선 등을 통해 시공 효율성을 극대화하기 위한 것이므로 건설 자동화에 있어서 투자 대비 효율이 가장 높은 분야라 할 수 있다.

이에 최근 국내의 시공 자동화 시스템 개발 연구단에서는 자동화 장비의 효과적인 적용과 안전성 향상 등을 위해 새로운 형태의 자립형 철골 접합부 부재를 개발하였다. 하지만 개발된 부재의 실제 현장 적용을 위해서는 우선적으로 부재

성능에 대한 검토가 반드시 요구되어진다.

따라서 본 연구에서는 실물모형실험(Mock-test)을 통하여 개발된 철골 접합부에 구조 안전성의 검토와 단위 작업시간의 측정을 수행함으로써, 개발 부재의 타당성과 향후 적용 가능성에 대해 고찰하였다. 자동화 시스템 최적화를 위한 프로젝트 수행 시 기초자료로 활용하는데 목적이 있다.

4.2 기본개념

본 연구는 철골 구조체 공사를 대상으로 하여 현재 연구가 진행 중인 로봇릭 크레인 기반 시공 자동화 (Robotic crane-based construction automation: 이하 RCA) 시스템 효율화를 목적으로 하여 개발된 철골 접합부 부재의 시공성에 대한 분석을 범위로 한다.

본 연구에서의 철골 접합부란 기둥 및 큰보(girder)의 접합부를 통칭하여 말한다.

철골 접합부의 시공성 분석을 위하여 기둥과 보 접합부 1개소 만을 대상으로 Mock-up test를 수행하였다. 이를 위해서 우선 접합부 상세 설계 도면을 기반으로 하여서 전문 철골제작 업체를 통해서 기둥, 보 및 부속 철물을 제작했으며, 기둥 설치 후 보 거치 과정에서 병형 게이지(strain gauge)와 변위계를 이용한 구조 안전성에 대해 측정하였다. 또한 실험 과정 중에 보 설치 작업시간을 측정하여서 기존 공사 방식의 작업시간과 비교함으로써 개발 부재 시공성에 대한 분석을 실시하였다.

4.2.1 RCA 시스템 및 자립형 철골 접합부 분석

4.2.2 RCA 시스템 분석

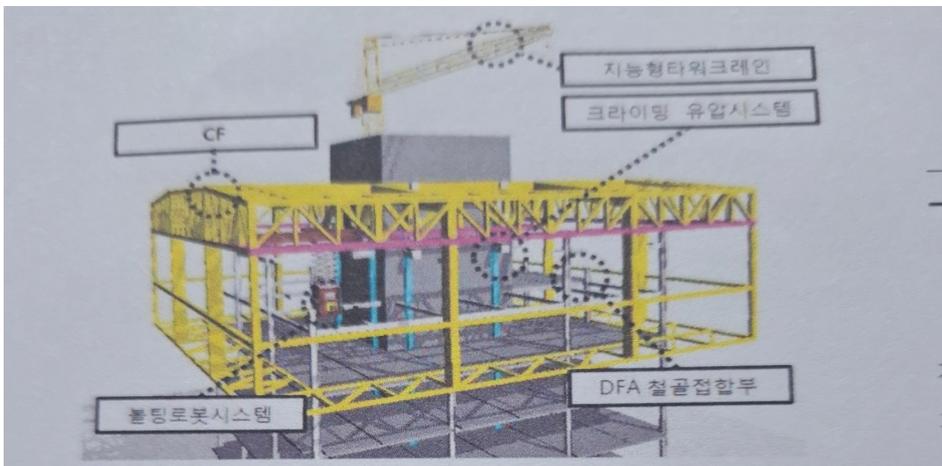
현재 국내의 연구개발이 진행되고 있는 RCA 시스템은 국내 건설 환경과 실정에 맞는 고층 건물 구조체에 철골 조립 자동화를 목표로 하고있다.(박귀태 외 2007). 이를 위해서 국내 고층 건물 프로젝트에 일반적으로 채택되어 코어 선행방

식에 철골 철근 콘크리트구조 건물을 대상으로 한, 기존 기술의 활용을 도모한다.

이에 따른 RCA 시스템의 핵심 기술은 그림 4와 같다.

기존 타워크레인을 기반으로 하여 무선인식 기술을 활용한 지능형 타워크레인 및 자동화 장비의 작업 공간으로 외부 환경 요소의 최소화를 위해서 건설공장 (Construction factory: 이하 CF 내부에는 볼트 체결을 위한 로봇 시스템 (Robotic crane)만을 설치하여 경량화 함으로서 국내 건설 환경에 걸맞는 실용적이고 경제적인 시스템을 구축한다.

[그림 4] RCA 시스템 핵심 개발 기술



출처 : 이명도 외4명, 철골조립자동화시스템의 설계최적화를 위한 요구성능 도출에 관한 연구.

이 과정에서 로보틱 크레인을 이용한 볼트 체결 자동화는 기존 철골 조립 공정 중 중대재해 사고 발생률이 가장 큰 보 조립 공정을 대상으로 이루어진다. (임현호 2008). 이 작업의 자동화를 실현하기 위하여는 볼팅 작업동안에 보 부재의 흔들림이 없어야 하며, 플레이트와 부재 간 볼트 구멍의 오차가 거의 존재하지 않아야 한다. 이를 위해 기존 인력에 의해 수행되었던 방식과는 다른 접합부 부재 디자인이 요구되어진다.

4.2.3 자립형 철골 접합부 분석

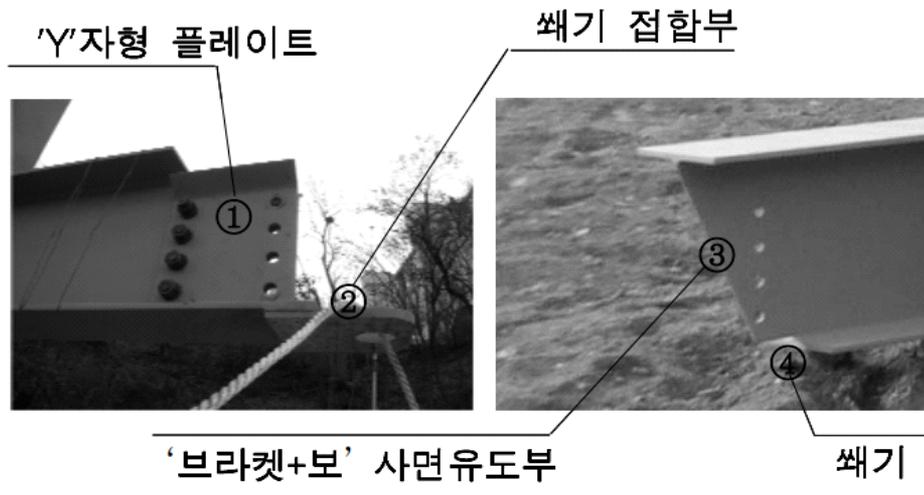
자동화 시스템에 적합한 철골 접합부의 부재 디자인을 위하여 우선 RCA시스

템 개발 참여자 중 직접적으로 연관력을 가진 로봇틱 크레인 개발자 등을 대상으로 하여 철골 접합부 디자인시 고려가 요구되는 사항에 대하여 조사를 실시하였다.

이러한 요구사항들을 바탕으로 하여 접합부 형태, 접합 및 부재 유도 방식 등에 대한 대안들을 도출하였고, 각 대안들의 경제성과 기술성에 대한 평가를 통해 가장 적합한 부재 디자인을 선정하였다(진일권 외, 2008).

이를 바탕으로 하여 상세 설계도면을 작성하였고 구조 사무소에 구조적 평가를 의뢰하여서 볼트 구멍 간 간격 및 개수, 플레이트 두께 및 길이를 조정하여 최종적으로 부재를 설계 하였다(그림 5).

[그림 5] 자립형 철골 접합부 부재 구성요소



출처 : 김동건 외5명, 건축물 시공 자동화 시스템을 위한 자립형 철골 접합부의 시공성 분석.

개발된 철골 접합부 부재는 브라켓 측에 선조립된 Y자형 플레이트와 사면 형태의 접합면과 더불어서 로프 유도를 통해 별도의 가이드 없이는 보의 자중에 의해 거치가 이루어지며, 썰기 형태의 접합부를 통하여 보다 정밀한 부재 거치가 가능하여진다. 이의 설치 프로세스는 그림6과 같다.

[그림 6] 자립형 철골 접합부 부재 설치 프로세스



(1) Y자형 플레이트 및 로프
체결 후 기둥 설치



(2) 보의 썩기에 로프 연결



(3) 부재 상승



(4) 로프를 이용한 부재 유도



(5) 썩기를 통한 부재 거치



(6) 오토 샤클을 이용한
와이어 로프 해체

출 처 : 김동진 외5명, 건축물 시공 자동화 시스템을 위한 자립형 철골 접합부의 시공성 분석.

4.3 자립형 철골 접합부의 시공성 분석

4.3.1 Mock-up test 수행 방법

개발된 자립형 철골 접합부의 성능 평가를 위하여 설계도면을 바탕으로 하여 전문 철골 제작 업체를 통해 부재를 제작하여 Mock-up test를 수행하였다. Mock-up test는 기둥 및 보 접합부 1개소만을 대상으로 하였으며, RCA 시스템 연구단에 시험시공 예정 부지 내에서 이루어졌다.

우선 Y자형 플레이트에 유도용 로프의 설치 후 기둥을 양중하여 가조립 상태로 체결하였으며, 보 거치 과정에서 구조적 안전성의 검토를 위하여 변형 게이지와 변위계를 설치하였다. 이후 설치 프로세스에 따라 보의 양중, 로프 연결, 거치 등을 수행하였고, 변형률 및 변위를 측정하였다.

실험은 총 15회로 보의 재상승과 거치, 측정을 수행하였고, 각 단위 작업의 시간도 함께 측정하였다.

4.3.2 구조 안전성

철골 보 부재는 거치 한후 바로 타워크레인의 후크 체결을 해제한 상태에서 로봇틱 크레인의 볼팅 작업이 이루어지기 전까지 거치 상태를 유지해야 한다. 이 때 브라켓 및 접합부에 작용하는 응력 및 처짐이 구조적 허용범위 내에 있어야 하므로 부재에 작용하는 응력 및 처짐 측정을 위해서 변형 게이지와 변위계를 설치하여, 각각의 설치 위치는 구조 전문가와 상담을 통해 진행 결정하였다.

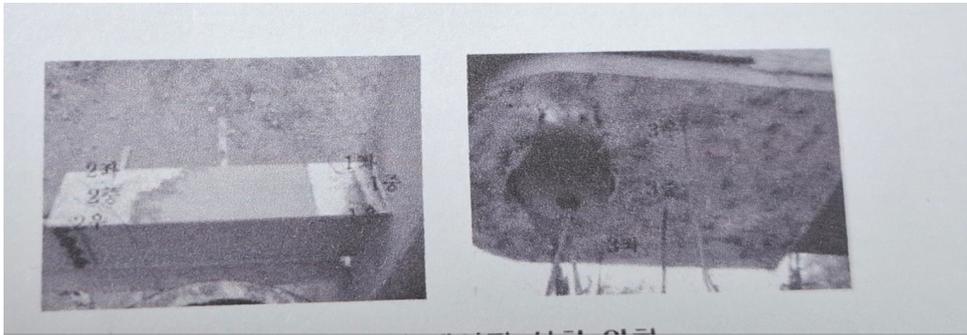
보의 거치가 시작되는 시작점부터 거치 후 타워크레인의 트롤리를 하강시켜서 보의 자중을 브라켓에서 지지하도록 한 상태로 측정값의 변화가 발생되지 않는 시점까지 약 30초에서 1분간 측정하였고, 상기 과정을 총 15회에 걸쳐서 반복 실시하였다. 측정값은 데이터 자동 기록기(data logger)를 통해서 휴대용 컴퓨터에 실시간 저장하였다.

변형 게이지는 그림 7과 같이 브라켓 상부 내, 외측 각 3개소, 썸기 접합부 하부 3개소로 총 9개소에 부착했으며, 측정된 변형률은 식 (1)을 통해 작용 응력을 산출하였다.

$$E = \sigma / \varepsilon \dots\dots\dots(1)$$

여기에서. E =탄성계수. ε =변형률. σ =응력

[그림 7] 변형 게이지 설치 위치



출처 : 김동건 외5명, 건축물 시공 자동화 시스템을 위한 자립형 철골 접합부의 시공성 분석.

실험에 사용된 강재는 SS400으로 탄성범위 내에서 최대 허용응력(f_y)은 235MPa, 탄성계수(E)는 2.1×10^5 MPa로 보았다.

표 21은 식(1)에 의하여 산출된 9개소 전체의 응력 분포를 나타내어진다. 그 결과로 실제 발생 응력은 최대 허용응력보다 충분히 작게 나타나 브라켓 및 썸기 접합부는 보 부재의 자중을 견디기에 충분할 것으로 사료된다.

[표 21] 브라켓 및 썸기 접합부 부재 작용 응력 분포

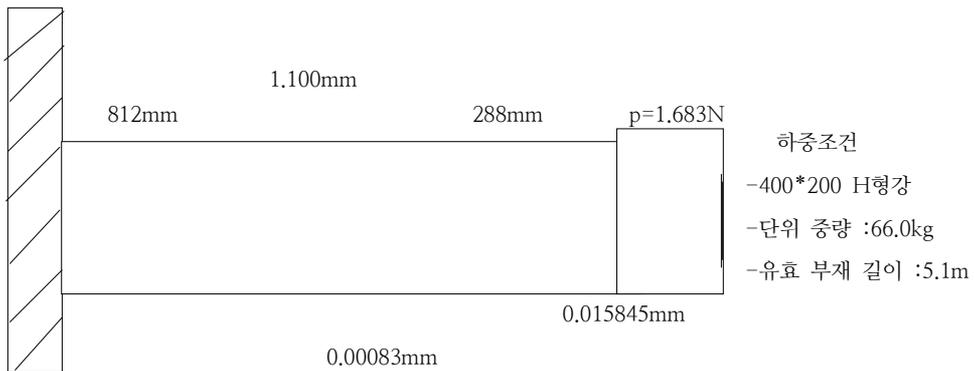
구분	응력 (MPa)								
	1좌	1중	1우	2좌	2중	2우	3좌	3중	3우
1	2.0	4.1	2.6	2.4	15.9	10.4	5.3	4.1	7.5
2	2.2	4.5	4.1	12.9	1.4	-	-	6.5	9.4
3	1.0	2.9	3.3	0.6	1.0	1.4	6.9	4.7	8.6
4	2.2	9.4	21.2	87.5	3.9	11.8	9.2	6.7	10.0
5	28.7	4.9	4.3	7.7	2.6	3.1	5.9	3.7	4.3
6	1.2	2.5	2.0	1.0	0.6	-	2.2	35.3	5.9
7	0.4	2.2	1.8	-	-	-	4.9	5.9	8.4
8	0.6	-	0.8	1.0	0.0	-	1.6	3.9	6.1
9	7.6	20.9	2.2	0.0	20.6	0.0	0.8	46.7	6.7
10	0.8	9.4	11.4	0.0	1.6	0.0	0.4	1.0	4.1
11	18.1	8.4	3.1	-	-	-	2.6	4.3	22.4
12	1.0	4.9	2.1	-	0.2	-	1.0	10.6	5.9
13	0.6	2.2	1.6	-	-	3.5	17.3	5.1	17.7
14	1.2	2.8	4.5	0.4	0.4	22.2	0.8	10.6	11.0
15	2.2	3.0	2.9	2.0	16.9	0.8	16.3	0.2	13.0

* 음영부분은 각 측정 위치에서의 최대 작용응력을 나타냄

** '-' 표시된 부분은 예상되는 응력의 반대 방향의 값으로 나타나 오류로 추정됨

변위계의 경우에 브라켓 및 썰기 접합부 하부 각 1개소로 구성 총 2개소에 설치하였다. 최대 허용 처짐과 이론상 발생하는 처짐을 계산하기 위해서 브라켓 및 썰기 접합부에 기둥과 브라켓의 연결부를 지점으로 하는 캔틸 레버보로 보고 브라켓의 단부의 보 자중의 1/2크기의 집중 하중이 작용하는 것으로 가정하였으며. 이러한 가정 하에 최대 허용 처짐은 브라켓 길이의 1/200으로 5.5mm 이며, 이론상 발생하는 처짐은 경사면의 형상을 사각형으로 가정하였고, 모멘트 면적법을 이용 계산한 결과 브라켓 및 썰기 접합부 하부에서 각각 0.00083mm, 0.015845mm로 나타났다.

[그림 8] 브라켓 및 썰기접합부 하부 이론상 발생 처짐



출처 : 김동건 외5명, 건축물 시공 자동화 시스템을 위한 자립형 철골 접합부의 시공성 분석.

실제 측정치 중 초기값과 최대 편차를 보이는 값을 최대 발생 변위로 보았을 경우, 브라켓 및 썰기 접합부 하부에서는 최대 발생 범위는 각각 2.5mm, 2.8mm로 나타났다. 이는 이론상 처짐보다는 훨씬 큰 값으로, 실제 실험시 충격하중, 진동, 게이지 오차 등에 기인한 것으로 보인다.

하지만 최대 허용 처짐보다는 작게 나타나서 결과적으로는 구조적 안전에는 문제가 없는 것으로 사료되어진다.

4.3.3 단위 작업시간 측정 및 기존 방식과의 비교

개발된 철골 부재의 시공성은 보의 양중을 위하여 와이어로프 체결 때부터 부재거치까지 단위 작업당 소요 시간을 도출하였고, 기존 방식에서의 소요 시간과의 비교를 통해서 측정 가능하였다. (표 22), 자립형 철골 부재를 이용한 부재 설치 작업에 기둥의 경우 기존 방식과 달리 기둥의 양중 이전에 Y자형 플레이트의 볼팅과 유도로프 체결 시간이 별도로 요구되고 있으나, 이는 부재 반입 및 적재 후 작업이 가능함으로 추가 시간이 소요되지 않는 것으로 간주하였다.

[표 22] 기존 방식과 자립형 철골 부재를 이용한 방식의 보 부재 설치 프로세스 및 작업시간 비교

기존 부재			자립형 철골 부재		
프로세스	소요시간(분)		프로세스	소요시간(분)	
	최소	최대		최소	최대
와이어로프 체결	0.5분	1.5분	와이어로프 체결	0.5분	1.5분
양중	2.0분	5.0분	양중	2.0분	5.0분
포지셔닝 및 유도로프 해체	2.0분	4.5분	유도포르체결	0.5분	1.2분
			재상승 및 거치	1.0분	1.8분
볼트 체결	2.0분	5.0분	-	-	-
작업자 이동 및 와이어로프 해체	1.0분	2.0분	와이어로프 해체	0.1분	0.2분
계	7.5분	18.0분	계	4.1분	9.7분

출처 : 김동건 외5명, 건축물 시공 자동화 시스템을 위한 자립형 철골 접합부의 시공성 분석.

기존의 보 부재 설치 과정에서 유도로프의 체결의 양중 이전에 보 부재의 볼트 구멍에 체결되어진 상태에서 타워크레인에 의한 양중이 이루어져서 브라켓 양쪽이 작업자들이 보의 포지셔닝 후 유도로프를 해체하게 되었고, 볼트 체결 후 작업자들이 보 위로 이동해서 타워크레인과 연결된 와이어로프를 해체하게 된다. 반면 자립형 철골부재는 조립층이 아니라 한 개층 아래에서 유도로프를 썬기 하단의 구멍에 체결되어 거치 직후에 해체 하지 않아도 되었으며, 와이어로프 해체시엔 타워크레인 후크에 오토 샷클(Auto shackle) 장치를 이용 자동으로 해체가 됨으로 브라켓 및 보위로 작업자의 이동이 요구되지 않는다.

기존 방식과는 다르게 하부에서 부재의 유도가 가능할 뿐만 아니라 Y자형 플레이트와 사면 형태의 접합부를 통해 빠르고, 안정적인 부재 거치가 이루어짐으로 기존의 부재 포지셔닝과 유도로프 해체 시간보다 약 05~1.5분 정도의 작업시간 단축이 가능한 것으로 나타나고 있다.

또한 와이어로프의 해체가 자동으로 이루어짐으로 약 1분 이상 작업시간의 단축이 가능하여진다. 결과적으로 볼트 체결시간을 제외 하게 되면 기존 방식에 비해 약 1.5~3분 정도의 보 부재 1개당 설치시간의 단축 가능할 것으로 사료 된다. Mock-up test를 통해서 우선 부재에 작용하는 응력과 처짐을 측정한 결과로 최대 허용 범위를 만족함으로써, 구조적으로 안전한 것으로 나타났다. 다만 볼트 체결을 로봇에 의해서 이루어진다는 점을 감안해볼 때 플레이트 및 브라켓 간 볼트 구멍에 오차가 로봇의 불팅이 가능할 수 있게 기계적 허용범위 또한 만족해야 할 것이다. 실험 결과 크기는 약 2~3mm의 오차가 발생 하였고, 이는 브라켓 측 볼트 구멍 크기 정밀 가공 및 씌기 형태에 개선을 통해서 기계적 허용범위 내에서 조정이 가능할 것으로 사료된다.

단위 작업시간을 측정하였고 기존 부재를 이용한 방식과의 비교를 통해서 부재 1개당 약 1.5~3분 정도 설치시간의 단축이 가능할 것으로 파악되어진다. 따라서 규모가 큰 고층 건물 시공에 적용할 경우 전체 공기를 크게 감소시킬 수 있을 것으로 사료된다. 또한 숙련공 외 비숙련공만으로도 설치 작업이 가능하고, 특히나 사고 발생 위험률이 높은 고소 작업을 제거함으로써 안전사고를 방지할 수 있다는 측면을 감안하여 볼 때 기존 방식과 대비해 자립형 철골 접합부 부재를 이용하는 공사 방식은 충분한 시공성을 지닌 것으로 사료된다.

따라서 개발되어진 자립형 철골 접합부 부재는 자동화 시스템 효율성에 큰 향상성을 가져올 뿐만 아니라 기존 인력을 이용하는 설치 작업에 적용할 시 안전성을 크게 개선시킬 수 있을 것으로 보여 진다.

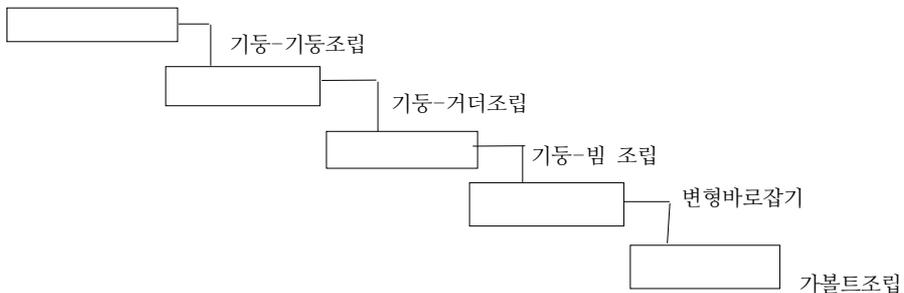
4.3.4 철골 공사 시간 및 산출

기존 방식의 공사비용은 다음과 같은 과정을 통하여 산출 한다.

- ① 철골 공사비용 산출을 위해 철골공사의 기본 공정표를 작성한다.
- ② 단위 공정 당 소요되는 시간을 산정한다.
- ③ 철골 공사에 소요되는 직접비 및 간접비를 산출한다.
- ④ ①~③을 바탕으로 철골 공사비용을 산출한다.

본 논문에서 철골 공사의 전체 공정 중에 자동화 시스템이 적용되는 현장 설치 및 조립 과정 등에 대한 공정표를 작성한다. 철골 공사에 현장 조립은 그림 9와 같은 순서로 진행 된다.

그림. 9 철골 공사의 현장 조립 공정표



각 단위 작업 공정당 걸리는 시간은 기존 철골 공사 자료 및 전문가의 면담 등을 통하여 산출 하였다. 우선적으로 부재 1개의 1회 설치시간은 현장의 크기와 타워크레인의 작업 속도 및 작업자의 작업 속도 등을 바탕으로 산출 하였다.

작업자의 작업 속도는 작업의 숙련도와 부재의 형태, 빔의 크기에 영향을 받는다. 따라서 본 연구에서 부재 도면을 기반으로 한 현장 전문가의 면담 및 현재 진행 중인 철골 현장을 방문하여서 얻은 철골 부재의 조립시간을 조사하여 정리하였다. 부재의 조립은 타워크레인의 작업 시간에 영향을 받으므로 타워크레인의 부재 양중 시간과 작업자의 부재 조립 속도를 고려해 산정 하였다.

[표 23] 부재 1개의 1회 설치 시간

작업 내용		일일 작업 시간(분)	1회 가조립 시간(분)	일일 작업량(PCS)
Wiring		480분	5분	
인양		480분	5분	
설치	기동세우기	480분	10분	
	기동-보	480분	10분	
	보-빔	480분	7분	
하강		480분	5분	
계	기동세우기	480분	25분	19.2
	기동-보	480분	25분	19.2
	보-빔	480분	22분	21.8

부재 1개의 1회 설치 시간의 계산은 철골 설치 작업을 Wiring, 부재 인양 부재설치와 타워크레인의 후크(Hook) 하강으로 구분하였고 각각의 작업시간을 계산한 후 합하여 산출 하였다. 변형 바로잡기에 소요된 시간은 인원 투입량에 따라 달라진다. 큰 현장의 경우에 존을 나눠서 작업조가 각각의 존에 투입되어서 변형 바로잡기를 실시한다. 그러나 본 사례 현장의 경우에 현장의 규모가 크지 않기 때문에 기존의 공사자료와 전문가 면담을 통해서 존의 구분 없이 변형 바로잡기를 실시하였고 이에 걸리는 시간은 1일로 산정하였다.

볼트 조임 및 기동 용접의 경우에 각각의 부재에 위치 및 크기에 따라 시간이 변하면 가조립과 마찬가지로 숙련공의 숙련도에 영향을 크게 받는다. 볼트 조임 및 기동 용접 시간의 경우, 현재 작업 중 현장을 방문하여 시간 조사를 하였으며, 전문가 상담과 기존 공사 자료를 바탕으로 본 사례현장에 맞게끔 산정하였다. 단위 공정당 걸리는 시간을 계산하여서 층당 소요시간을 산정하여 표 23에 정리하였다.

4.4 건설 자동화 시스템의 미래전망

건설자동화 시스템의 미래는 수요에 의한 기술 발전과 핵심 요소기술의 발전에 의해 건설 기술 적용 확대로 발전할 수 있을 것이다. 즉, 건설자동화 및 로봇 수요의 증대에 따른 기술혁신의 노력과 투자가 활발히 진행됨으로써, 빠른 속도로 발전될 것이다.

반면, 요소기술의 발전 속도에 따라 연구개발의 완성도를 높일 수 있으며, 이에 따라 건설 산업에서 적용 분야가 확대될 것으로 전망된다.

즉, 자동화 및 로봇분야의 3대 요소 기술인 구동체 기술(하드웨어), 제어기술, 생산기술의 첨단화와 복잡, 대형화되는 건설 산업의 새로운 수요를 양방향의 시각에서 협업체계를 구축하여 추진하면서 기술개발이 진행됨이 바람직하다. 최근 활발히 진행되고 있는 로봇기술로서 휴머노이드 등 2족 보행로봇의 등장, 무선통신 제어기술, 첨단 센싱 기술 등을 건설용 로봇 개발에 활용하는 것이 중장기적 추진 방향으로 예상된다.

중장기적 측면에서 볼 때, 건설 분야에서 로봇의 적용 가능분야로는 사회간접자본의 유지관리용 로봇, 철거, 보수, 보강의 자동화공법, 재난복구용 로봇, 환경보존을 위한 로봇, 인력 대체형 로봇, 지능형 로봇의 개발이 가장 유력한 것으로 여겨진다.

첫째: 사회간접자본의 유지관리용 로봇으로 터널 유지관리시스템 및 교량 유지 관리시스템을 들 수 있다.

둘째: 건축물 철거작업에 작업자들의 안전을 위한 작업자대체용으로 활용할 수 있다.

셋째: 보수 보강의 자동화공법으로는 지진, 진동에 의한 시설물 보강 자동화시스템, 시설물 외벽 보수보강 시스템 등을 포함할 수 있다.

넷째: 재난 복구용 로봇으로는 수해 및 지진 등의 재난으로 인한 오염 혹은 위험 지역에서의 무인 시공시스템을 생각할 수 있다.

다섯째: 환경보존을 위한 로봇은 심각한 환경오염 지역의 복구를 위한 특수건설용 로봇의 개발을 고려할 수 있다.

여섯째: 지능형 로봇은 인력 대체형 자재의 운반 및 인양용 로봇, 협소하고 위험

한 지역에서 작업이 가능한 지능형 로봇이다.

이상의 여섯 가지 분야에서 건설로봇의 적용이 예상되고 있으나 개별적 로봇의 개발과정을 거쳐 상호 연계를 통한 자동화 및 로봇시스템의 구축으로 발전될 것이다. 따라서 건설자동화 및 로봇화는 크게 두 가지 방향으로 전개될 것이다.

첫째: 기계화시공을 위한 건설기계의 반자동화와 무인화/자동화, 지능형 로봇화로 진행될 것이다. 기존의 26종의 건설기계의 몸체(구동부)의 견고함 및 스스로 이동 능력에 자동화가 주요한 이슈가 될 것이다.

중량물을 취급하는 건설공사에 적합한 자동화 기계는 규모가 크고 견고하여야 하나 신소재 등을 이용하여 자체 무게를 경량화 할 필요가 있다. 자동화 기계의 작동 및 제어를 위한 요소기술로는 무선통신, 첨단제어 및 계측기술의 활용이 활발히 진행될 것이다. 센싱 기술로는 접촉 및 비접촉식 센싱, 비전시스템 등 첨단 센싱 기술의 활용이 기대된다.

둘째: 자동화시공시스템의 구축으로 건설기계의 로봇화 및 사업관리 정보가 연계된 혁신적 자동화시공시스템의 구축이 될 것이다.

이는, 건설로봇과 RFID (radio frequency identification) 기술 USN(ubiquitous sensor network)기술 GIS/GPS기술 등 첨단 위치정보기술 등에 첨단 정보기술을 이용한 건설 사업관리 정보와 연계된 자동화시공 시스템의 구축을 의미한다.

건설자동화 및 로봇화를 실현하기 위해서는 자동화 요소기술의 개발과 더불어 자동화를 위한 설계 및 엔지니어링기술(design for automation)의 개발이 중요하다. design for automation은 두 가지 측면에서 고려되어야 한다.

첫째: 자동화 기계 및 로봇의 개발을 위한 기구학적 설계의 표준화 및 규격화가 요구된다.

둘째: 자동화 기계 및 로봇에 의한 시공을 위한 작업프로세스 및 자재의 표준화. 모듈화 및 규격화를 포함한 설계 및 엔지니어링의 혁신이 병행되어야 한다.

즉, 건설관리 측면에서 건설자동화 및 로봇화의 실현을 위해서 중점적으로 연구개발해야 하는 항목의 하나로 자동화 시공을 위한 작업여건이 고려된 설계라 할 수 있으며 이는 매우 중요하다.

현재 국내 로봇기술은 세계5위의 로봇강국으로 국내 성장 동력엔진으로 이미 선언 하고 정부 차원에서도 아낌없이 지원을 하고 있다. 초기 로봇시장은 산업의

자동화시스템 구축을 위한 산업용 로봇으로 시작하여 우주, 국방 로봇으로 범위가 확대되어 왔다. 최근에는 의료, 생활로봇 등 인간생활의 질적 향상을 위한 서비스용 로봇의 개발이 활발히 진행되고 있고 기술지보의 속도도 매우 빠르게 진행되고 있다.

최근 가정에서 많이 사용하고 있는 청소용 로봇의 확대에 따른 주택의 평면계획이 변화하여야 한다는 수요가 매우 흥미롭게 느껴진다. 생활로봇으로 활용되고 있는 청소용 로봇의 활용도가 증대됨에 따라 로봇에 적합한 건축계획이 요구되고 있는 것으로서 자동화 및 로봇화에 따른 영향을 간접적으로 유추할 수 있는 시사점이 있다.

성공적인 시스템은 성능이 우수한 장비와 이를 효율적으로 사용할 수 있는 운영기법의 조화로 이루어진다. 특히 선택적 자동화에 의한 기존 인력과 자동화 장비와의 협업 시스템은 공정을 복잡하게하고 시, 공간적 간섭을 증가시키기 때문에, 현장의 특성과 도입하는 건설자동화의 특성을 함께 고려할 수 있는 계획 방법이 필요하다. 그러나 현재까지의 건설자동화 연구는 장비 개발 위주로 진행되어 왔고 자동화 장비를 운영하는 시공 공정계획에 대한 연구는 미비한 실정이었다.

또한 기존 공법의 시공 공정계획 절차는 인력 중심의 계획으로서 로봇과 같은 자동화 장비의 특성을 상세히 반영할 수 없는 한계점에 있다. 따라서 자동화 시스템을 위한 정확한 시공 공정계획 수립의 어려움이 있다. 복잡한 작업간의 관리능력 부족은 작업 충돌과 과도한 대기 시간을 발생시켜 전체적인 작업 생산성 하락의 결과를 가져오게 된다. 결국 이것은 고층건물 시공 자동화 시스템 개발의 목적 중 하나의 실용성에 부정적 영향을 미치게 된다.

향후 건설 생산성 및 안전도 향상, 균일한 높은 품질의 확보, 인간의 한계를 극복할 수 있는 고도의 로봇, 즉 인간과 같은 기능과 성능을 갖춘 로봇이 개발된다면 건설자동화 및 로봇화의 꿈이 실현될 수 있을 것이다.

이를 위해 『건설로봇 자동화 시대 2030』 계획을 수립하여 건설 산업의 산, 학, 연, 관 협업체계를 구축하고 전략적인 추진이 절실한 시점이다.

V. 결 론

본 논문에서는 건설공사의 자동화 시스템에 경제성을 확보할 수 있도록 개발 단계에서부터 자동화 장비의 요구 성능을 분석할 수 있는 모델을 제시하였다.

그러나 기존의 건설 자동화 연구는 기술적 측면을 중심으로 하여 장비의 요구 및 성능을 분석하였으며, 경제성을 확보할 수 있는 모델 개발이 아쉬운 점이 있다.

건설공사 자동화 시스템은 자동화 시스템에 성공적인 실용화를 목표로 개발이 이루어졌으면 한다. 자동화 시스템을 현장에 적용하여서 실용화하기 위해서는 장비의 성능은 물론이거니와 경제성 확보가 중요한 판단의 기준이 되고있다. 또한 분석 방법도 체계성의 부족으로 효과적인 자동화 시스템의 개발에 한계가 있었다.

건축시공 자동화 시스템의 장비, 성능, 요구, 분석, 모델개발을 위하여 일본 및 국내에서 진행 하고있는 건축 시공 자동화 장비 개발 현황에 관한 연구를 분석 했고, 이를 통해 기존 연구의 문제점인 개발 단계에서 자동화 시스템의 요구 성능 분석에 관한 연구에 필요성을 제시하였다.

또한 요구 성능 분석에 관한 기존 연구를 통해서 시간과 비용간의 상관관계를 사용한 건축 시공 자동화 시스템의 요구, 성능, 분석, 모델 제시 방법을 설정 하였다. 시간, 비용, 간의 상관관계를 이용해서 기존 건축공사 및 자동화 시스템을 적용한 공사에 대한 방정식을 구했다.

이것을 토대로 하여 자동화 시스템의 사례연구를 통해 기존 철골공사의 비용 및 시간을 산출 하고, 개발되어진 요구 성능 모델을 현재 개발 중인 철골공사 시공 자동화 시스템에 적용하여서 안정적, 실용적, 경제성이 확보된 자동화 시스템의 요구 성능을 구했다.

그 결과 기존의 철골공사 방식보다 공사기간이 줄어들었고, 공사비용 면에서도 절감이 가능해진 자동화 장비의 요구 성능 범위를 구할 수 있었다. 본 연구에서 제시한 건축 시공 자동화 시스템 요구 성능 분석은 개발단계에서

자동화 시스템의 실용성과 경제성을 확보하는데 기여할 것으로 보인다.

5.1 기대효과

5.1.1 XR 기반 작업자와 로봇 원격제어 기술 개발 및 실용화를 위한, 과학, 기술적 기대효과

최근 디지털 환경에서 인간역할은 적극적인 참여자로 변화하여, 다양한 요소와 직접 상호작용하는 존재로 자리 잡고 있다. 로봇과의 협업을 통하여 인간이 직면하는 위험에 대해 감소시키는 방안으로 혼합현실(XR)을 로보틱스 문제 해결에 도입하려는 연구가 진행되고 있고, 혼합 현실 기술은 작업자 들에게 실제감과 몰입감 등을 제공하여 원격 작업의 효율성을 향상시키는데 기여하고 있다.

XR 기반 작업자와 로봇원격제어 기술개발은 작업자가 혼합현실 공간을 통해서 원격의 로봇을 제어할 수 있도록 원격작업 로봇이 있는 원격 작업장과 동일하게 재현한 XR 공간을 구축 하였고, 구축된 XR 공간은 작업자가 XR 공간 및 원격 작업장의 상태를 모니터링하였고 원격 로봇 제어를 위한 명령을 생성하였으며, 원격제어 작업 수행 결과를 실시간으로 확인하도록 설계되었다, 또한 XR 환경 내에서 원격제어 작업에 원활한 수행과 피드백을 지원하여주는 인터페이스 를 개발 하였다.

건설 작업에서는 로봇 적용을 통한 자동화 범위 확대를 위한 현장 메뉴얼이 전적으로 이루어진다면 정형화 되지 않은 부위에 대해서 (실시간) 대응능력이 부족한 기존 건설 로봇 기술을 비정형화된 부위(예: 코너 부위, 빔 - 거더 연결부위, 빔 스피트너 설치 부위 등) 까지 원격제어를 이용하여 시공 가능토록 확대하며, 건설작업의 다양한 특성 및 범위에 맞게 조절할 수 있는 확장성을 갖춘 표준화된 인간 로봇협업 기술개발에 힘쓰며, 건설 현장의 작업자가 많이 투입되지 않아도 능률성도 오르고 현장 작업자들의 안전성도 확보되고 안전재해로 인한 인명사고 또한 많이 줄어 들것이라 사료되는바 보다 빠른 도입이 되어 작업현장에 적용할 수 있기를 기대하여 본다.

작업자 친화적인 인간과 로봇 협업 (HRC)시스템은 작업자의 안전, 편의성, 효율성을 최우선으로 고려하여 설계된 협동 로봇 시스템을 의미 하며, 이는 기존의 산업용 로봇과 달리 보호 울타리 없이 인간 작업자와 같은 공간에서 상호 작용하며 작업을 수행한다. 이러한 시스템과 주요 특징과 구현 요소는 다음과 같다.

안전성 확보: 가장 중요한 요소로 충돌 감지 센서, 힘 및 토크 센서, 비전 시스템 등을 탑재하며 작업자의 안전을 보장한다. 위험상황 감지시 로봇의 속도를 줄이거나 즉시 정지할 수 있다.

작업자 부담 경감: 무겁거나 반복적이고 지루한 작업을 로봇이 처리함으로써 작업자의 육체적 피로(근골격계 질환 등)와 인지적 부하를 줄여주어 주며 맑은 정신으로 작업에 임하게 하여 준다.

생산성 및 유연성 향상: 인간의 민첩성, 문제 해결 능력과 로봇의 정밀성, 일관성을 결합하여 전반적인 작업 효율성과 생산 품질을 높여줍니다.

쉬운 사용 및 프로그래밍: 복잡한 코딩 없이도 작업자가 로봇의 움직임을 직접 손으로 가르치거나 (직접교시) 사용자 친화적인 인터페이스를 통해 쉽게 프로그래밍을 할 수 있다.

향상된 작업자 경험(UX): 작업자의 피로도나 스트레스 수준을 예측하여 로봇의 동작을 맞춤형으로 조정하는 등 인간 공학적 설계가 적용되므로 쾌적한 작업이 될 수 있습니다.

작업자가 원격으로 로봇 제어를 통해 고소작업을 수행할 수 있도록 하여서 숙련공의 경험을 최대한 활용하면서 추락과 같은 안전사고 발생 위험을 최소화 하여 건설 공사에서 작업자들의 역할을 유지함으로써 건설 산업의 로봇 도입에 대한 저항을 최소화하고 작업구역 식별, 품질검사 등에 인공지능 기반 작업 보조 시스템을 통해서 시공의 정밀도와 품질을 높일 수 있습니다.

고소작업 결과물의 비접촉 품질검사를 위한 단일화된 국가 표준은 현재 명확하게 제시되어 있지 않지만 다만, 관련 연구 및 산업계 동향에 따라 레이저 스캐너, 카메라, 드론, AI 비전 검사시스템 등 첨단 비접촉 방식을 활용한 품질 검사 기술이 도입되고 있으며, 관련 기준은 각 산업 분야의 기존 안전 및 품질관리 표준을 준용하거나 보완하는 형태로 발전하고 있다.

레이저 스캐너, 드론, 카메라와 같은 비접촉 방식 등을 활용한 고소작업 결과물에 품질검사 관련 표준제시와 작업자가 직접 수행하여서 많은 시간과 위험을 수반하였던 기존 품질검사 방식을 최신 센서 및 로봇 기술로 대체하여서 검사의 신뢰성 및 작업자 안전 확보를 위한 연구가 활발하게 진행 중이다.

5.1.1.1 비접촉 품질검사 기술 활용

레이저 스캐너 및 3D 모델링: 고소작업 결과물의 시공 정밀도와 구조적 무 결성을 확인하기 위해 레이저 스캐너를 활용하여 3D데이터를 획득하고 설계 모델과 비교 분석할 수 있다.

고해상도 카메라 및 드론: 사람이 접근하기 어려운 고층부나 위험 구역의 결과물을 드론에 탑재된 고해상도 카메라로 촬영하여 표면 결함, 균열, 도장 상태 등을 신속하게 검사 할 수 있으며 제시공 및 하자보수에 아주 용의하다.

AI 비전 검사 시스템: 촬영된 이미지나 데이터를 AI 기반 소프트웨어로 분석해 용접 불량, 기포, 언더컷 등 미세 결함을 탐지하여 객관적인 품질 판단을 지원할 수 있다.

열화상 카메라: 단열 상태, 기밀정도, 열교 현상 등 육안으로 확인하기 어려운 부분의 품질 검사에 활용된다.

5.1.1.2 표준 및 가이드라인 준용

특정 작업(예: 건설 현장 용접 및 구조물 설치)에 따라 아래와 같은 기존 표준 지침을 비접촉 검사에 맞게끔 적용할 수 있다.

국제 표준 (ISO/IEC): AI 기술이 적용이된 제품의 품질은 ISO/IEC 25024(데이터 품질 측정)등 관련 국제 표준에 따라서 품질 완성도를 평가할 수 있다.

산업안전 보건 기준: 고소작업 자체는 산업안전 보건법과 관련 지침(예: 고소작업대 안전관리 매뉴얼 및 표준 작업계획서)에 따라 안전하게 이루어져야 하며, 검사 과정에서도 안전 수칙이 최우선으로 고려되어야 한다.

품질 관리 기준 (QC/QA): 각 산업별로 기존에 수립되어진 품질 관리 기준(예: 허용 오차 범위 및 결함 유형 분류)을 비접촉 검사 결과에 적용한다.

“작업자 중심 건설 자동화 패러다임”은 자동화 기술 도입 과정에서 작업자

의 안전 및 편의성을 최우선으로 고려해, 이들의 경험과 숙련도를 기술과 결합하고 효율성과 안전성을 동시에 추구하는 접근 방식을 의미한다. 이는 단순히 인력을 대체하는 것을 넘어서, 기술과 사람이 협력하는 '인간중심(Human-Centric)' 스마트 건설을 목표로 하고 있다.

1) 주요 특징 및 접근방식은

안전최우선(Safety First): 자동화 및 스마트 기술은 위험한 작업을 대신하거나 위험 요소를 사전에 감지하여 작업자의 안전한 작업 환경을 조성하는데 중점을 둔다.

인간-로봇 협업(Human-Robot Collaboration): 로봇이나 자동화 장비가 독립적으로 작동하기보단, 작업자와 상호 보완적으로 협력하여 생산성을 높인다. 작업자는 복잡한 판단이나 섬세한 작업을 수행하고, 로봇은 무거운 중량 물운반이나 반복적인 작업을 담당한다.

작업자 참여 및 수용성 증대: 기술 도기 초기부터 작업자의 의견을 반영하여 (예: 작업자 제안채널 운영), 로봇 제어를 작업자가 쉽게 할 수 있도록 하며 기술에 대한 거부감을 줄이고 도입을 가속화 한다.

숙련공 지식의 활용: 자동화 시스템 설계 시 숙련된 작업자들의 경험과 노하우를 프로그래밍이나 시스템에 반영케 하여, 기술이 이들의 전문성을 보조하고 확장할수 있도록 한다.

역할 변화 및 재교육: 단순 육체노동 중심에서 자동화 장비 모니터링, 원격 제어와 예외 상황 처리 등에 새로운 역할로 작업자의 업무가 전환됨에 따라, 이에 필요한 교육 및 훈련프로그램이 중요해 진다.

2) 적용사례

머신 가이드스/컨트롤(MG/MC): 굴착기 등 중장비에 센서와 모니터를 부착하여 작업자가 정밀한 시공 위치와 지형 정보를 실시간으로 확인하여 작업할 수 있도록 돕는 기술이다.

스마트 안전 장비: 작업자의 위치를 실시간으로 추적하고 위험 구역 접근 시 알람을 주는 스마트 안전모나, 중장비 주변의 위험 요소를 감지하는 AI영상인식솔루션 등이 있다.

증강현실(AR) 기반 협업 시스템: 작업자가 AR 헤드셋을 통해 3D 모델링

정보를 현장에서 직접 보면서 시공하거나, 로봇과 협업하여 작업을 수행할 수 있도록 지원하는 기술이다.

이 패러다임은 건설 현장의 고령화 및 인력난 문제를 해결하고, 생산성 및 안전성을 동시에 향상 시키는 핵심 전략으로 부상하고 있다.

본 연구에서 제안하고자 하는 인간 친화적인 협업 방식은 로봇의 제어를 로봇 기술자 또는 운전자가 아닌 건설 작업자가 가능 하게 하기 위함이다.

건설 작업자들의 건설 로봇 도입에 대한 저항을 줄여 건설 로봇의 도입을 더욱 가속화 하며 숙련공들의 지식과 경험을 로봇을 이용한 시공에서도 활용 가능케 함으로서 시공의 정밀도와 품질을 높이며, 향후의 건설 로봇을 구조화 된 작업은 자율적으로 수행케 하고, 미세 조종이 필요한 비구조화 된 작업은 숙련공의 원격(직접) 제어를 받는 형태로 발전할 수 있을 것으로 기대가 된다.

5.1.2 경제적 기대효과

고소작업의 생산성 및 경제성 증대는 안전한 작업환경 조성과 효율적인 장비사용, 로봇 등 기술 도입으로 향상될 수 있고, 넓은 플랫폼과 넉넉한 리프트 용량을 가진 장비가 생산성 향상에 기여한다. 안전 수칙 준수는 사고를 예방하고 생산성을 유지하는데 필수적이며, 자동화 및 기술 발전에 힘입어 고소작업 효율이 더욱 증대될 가능성이 있다.

5.1.2.1 생산성 향상 요인

안전한 작업환경: 안전모, 안전화, 안전대 등 보호구 착용과 안전 난간 설치, 출입 통제 등으로 안전사고를 예방케 하여 작업 중단을 최소화 한다.

5.1.2.2 효율적인 장비사용

넓은 플랫폼: 작업자가 필요한 도구 및 자재를 한번에 운반케 하여 이동 횟수를 줄여 생산성을 높인다.

적절한 장비선택: 작업 환경에 맞는 고소작업대를 선택 작업 효율을 최적화 한다.

5.1.2.3 기술도입

로봇도입: 고소작업대와 함께 로봇을 활용 인력 고령화, 인건비 상승과 사

고 위험을 줄이고 생산성을 높일 수 있다.

공정 최적화: 직선 캐리지와 같은 용접장비 개발을 통해 작업 효율성을 높여 생산성 향상과 불량률 감소를 도모할 수 있다.

작업자의 숙련도: 안전 수칙 준수와 더불어 작업자의 숙련도는 생산성과 직결 된다.

열악한 작업 환경으로 인한 투입 인력 대비 낮은 생산성을 보이는 고소작업에 로봇을 도입해서 작업시간 단축과 비용을 절감할 수 있게 불필요한 인력 노동을 최소화해 인건비 및 안전관리 비용을 절감함으로써 장기적인 관점에서는 건설 산업의 지속 가능성을 확보할 수 있다.

5.1.3 신 시장 및 비즈니스 모델 창출

신시장 비즈니스 모델 창출은 새로운 가치 제안을 통해 기존에 없던 시장 영역을 만들거나(신시장 창출형), 기존 시장의 구조를 혁신하여 경쟁 우위를 확보하는 과정이다.

이는 단순히 제품이나 서비스를 개발하는 것을 넘어서, 기업이 가치를 창출하고 수익을 확보하는 근본적인 방식을 재정의 하는 것을 의미한다.

신시장 비즈니스 모델 창출을 위한 핵심 단계와 전략은 다음과 같다.

5.1.3.1 핵심 전략 및 접근 방식

문제 해결에서의 출발 : 혁신적인 비즈니스 모델은 종종 고객이 겪는 불편함이나 시장의 공백을 발견해 이를 해결하는데서 시작된다.

기술 기반 혁신: 디지털 전환(DX), 인공지능(AI), 데이터 기반 분석 등에 신기술을 활용해 새로운 비즈니스 기회를 모색할 수 있다.

플랫폼 모델: 기존자원(차량, 공간 등)을 효율적으로 활용해 공급자와 수요자를 연결하는 플랫폼을 구축, 새로운 가치를 창출한다(예: Uber).

지속 가능성과 책임 경영: 환경 및 사회적 책임을 비즈니스 모델에 반영하여 긍정적인 브랜드이미지를 구축하고 새로운 고객층을 확보할 수 있다.

5.1.3.2 구체적인 개발 프로세스 (비즈니스 모델 캔버스 활용)

비즈니스 모델 캔버스와 같은 프레임워크를 활용하면 아이디어를 구체화하고 공유하는데 도움이 된다.

- 1) 고객 세그먼트 정의: 누구를 위한 가치 제안인지 명확히 한다
- 2) 가치제안 설계: 고객의 니즈를 만족시키는 차별화된 핵심 가치가 무엇인지 정의한다.
- 3) 채널 및 고객 관리 설정: 고객에게 가치를 어떻게 전달하고 관계를 유지할지 계획한다.
- 4) 수익 모델 및 비용 구조 분석: 어떻게 수익을 창출하고 비용을 관리할지 구체화 한다.
- 5) 핵심 자원 및 활동 파악: 가치 제안을 실현케 하기 위해 필요한 핵심 자원(기술, 인력, 자본 등)과 활동을 식별한다.

5.1.3.3 성공사례 시사점

- 1) 비즈니스 모델의 변화만으로 시장 성장 가능: 에너지 절감 이익 공유 모델 (ESCO)처럼, 제품자체의 변화 없이 수익 창출 방식을 바꿈으로써 시장을 확대할 수 있다.
- 2) 데이터 및 AI활용: 데이터를 분석하여 시장 수요를 예측하고 서비스 품질을 향상시키는데 활용하는 것이 중요하다.
- 3) 민첩한 실행: 아이디어를 신속하게 실행하고 시장 피드백을 반영하여 비즈니스 모델을 지속적으로 개선하는 실행력이 성과 창출의 핵심이다.

결론적으로 신시장 비즈니스 모델 창출은 고객 가치에 기반한 혁신적인 아이디어를 구체적인 비즈니스 모델로 만들고, 민첩하게 실행하여 시장 경쟁 구도에서 새로운 포지셔닝 을 확보하는 과정이라 할 수 있다.

원격제어 및 반 자율 작업 기술에 관련된 신 시장 선점을 통해서 국내외 건설 시장에서 경쟁력을 확보하고, 고소작업 중 용접작업 내화 뿔칠(도장)작업 로봇에 하드웨어를 판매하고, 원격제어 및 반 자율 작업을 위하여 소프트웨어를 구독형 서비스로 제공케 하여 지속적인 수익 창출을 확보하며 복잡한 용접 내화뿔칠(도장) 작업을 요하는 산업분야에 비즈니스 모델을 확장해 새로운 수익 창출 기회를 마련하였으면 한다.

5.1.4 사회적 기대효과

건설 산업의 안전성 및 작업 환경 개선은 위험성 평가를 통한 유해요인 제

거, 공학적 대책 및 관리적 대책 시행, 안전 교육 강화 등을 통해 이루어진다. 구체적으로 비산먼지 및 소음 저감, 안전 보호구 지급, 작업일정 및 속도 조절, 안전관리 책임자지정 및 교육 등이 포함된다.

5.1.4.1 작업 환경 개선

1) 유해 요인 관리

(가) 비산먼지: 방진 덮개, 살수시설 설치, 이동식 집진 시설활용, 진공 청소 차량 운영, 세륜 시설 설치 등을 통해 먼지 발생을 억제한다.

(나) 소음: 에어 방음벽 설치, 공사 사전 신고, 소음 규제 기준 준수, 경계에 고정식 방음 시설 설치 등으로 소음을 관리한다.

(다) 폐기물: 종류별로 분리하여 보관하고 적법하게 처리한다.

(라) 토양오염: 콘크리트 타설 이나 유류 사용 시 불투명성 천막 등으로 토양오염을 방지한다.

2) 작업 방식 개선

(가) 작업 다양성 제공 및 휴식시간 부여: 작업자의 근골격계의 부담을 줄인다.

(나) 작업속도 및 일정조절: 무리한 작업 강도를 피하고 적정배치를 실시한다.

(다) 정기적인 청소 및 유지보수: 작업 공간 및 공구, 장비 등을 깨끗하게 유지 한다.

5.1.4.2 안전 관리 체계 구축

1) 위험성 평가: 위험 요인을 사전에 파악해 대책을 수립한다.

2) 책임자 지정 및 교육: 작업별 관리 책임자를 지정하고, 작업 전 안전 교육을 실시하여, 개인 보호구 착용을 의무화 한다.

3) 안전보건 관리자 배치: 안전보건 관리자 해임시 사유 증빙을 의무화 하는 관리 체계를 강화한다.

(가) 안전 의식 제고

① 안전보건 교육: 근로자의 안전 의식 함양을 위해서 지속적인 교육을 제공한다.

② 위험성 평가 활용: 위험성 평가 결과를 안전 계획에 반영 한다.

③ 안전 문화 형성: 안전 감수성 증진을 위한 노력을 기울인다.

(나) 보호구 및 장비 관리

① 안전장치와 보호구의 정기 점검 및 정비는 필수이다.

② 위험성 감소 대책 우선순위(제거>대체>공학적 대책>관리적 대책>개인 보호구)에 따라 안전조치를 시행한다.

5.1.4.3 법규 준수 및 기술 활용

1) 법규준수: 비산먼지, 소음, 유해물질 배출 등에 관한 법적 규제를 준수한다.

2) 기술 활용: 드론을 활용한 위험 지역 점검 등 첨단 기술을 안전 관리에 도입할 수 있다.

건설현장의 주요 재해인 추락사고를 대폭 줄여서 안전한 작업 환경을 조성함으로써 건설 산업 전반의 안전기준을 강화하고, 작업 환경에서 스트레스와 신체적 부담을 완화함으로써 전반적인 직업 만족도를 높여서 신규 일자리 창출과 전문 인력양성에 기술 중심의 신규 일자리를 창출해 건설 산업의 디지털 전환을 촉진하고, 이를 통해 고용 안전성에 기여해 로봇 기술의 도입과 응용을 위한 신규 기술 교육을 통해서 기존 건설 작업자들을 전문 인력으로 양성함으로써 건설 산업의 전문성을 높여서 국가 경쟁력을 강화함을 기대하여 본다.

그러나 본 연구에서는 자동화 시스템을 통하여 얻을 수 있는 작업 근로자의 안전성 향상과 품질개선, 자동화 시스템을 적용함으로써 기업에 이익이 되는 기업의 이미지 효과에 대한 분석은 고려치 않았다.

이는 추후 자동화 시스템에 개발 및 검증 단계에 있어 재작업 및 추가 작업 등의 활동으로 인해 여기서 소요되는 비용과 시간을 줄일 수 있으며, 자동화 시스템 개발 이후 생산성의 저하로 인해 실용화에 대한 곤란함을 최소화 할 수 있기 때문이다. 따라서 개발 단계에서는 좀 더 정확한 요구 성능 분석 모델을 개발하기 위해서 위에서 연구한 요소들을 고려한 분석이 추가적으로 이루어져야 할 것으로 사료된다.

참 고 문 헌

1. 국내문헌

- 고성석, 송혁, 이재용. (2004). 건축공사 공중별 위험도에 관한 연구, 『대한건축학회논문집- 구조계』, 20(5), p.p.137-144.
- 고성석, 오준호. (2002). 재해사례 분석을 통한 거푸집 공사의 효율적 안전 관리 방안, 『대한건축학회논문집- 구조계』, 18(9), p.p.199-206.
- 김동춘, 김화중. (2001). 철골공사 중대재해분석을 통한 위험성 평가 방법에 관한 연구, 『대한건축학회논문집-구조계』, 17(12), p.p.217-224.
- 김영석. (2003.11). 건설자동화 R&D 단계별 전문가 그룹의 역할과 책임, 『건설관리 기술과 동향, 한국건설관리학회』.
- 고용노동부 노동행정통계, (2002~2005).
- 대한주택공사 공사비 분석자료, (2005).
- 서종원. (2003.11). Man-Machine Interface와 건설자동화, 『건설관리 기술과 동향, 한국건설관리학회』.
- 안홍섭, 고성석. (1996). 건축철골작업의 재해방지를 위한 방안에 관한 연구, 『대한건축학회논문집』, 12(11), p.p.233-242.
- 이승렬 외. (2006). 鐵骨造 工事의 自動化를 위한 로봇 핸드, 『대한건축학회 논문집』, 22권9호, 대한건축학회, p.p.151.
- 이승렬 외. (2007). 國內 建設 內/外裝材 設置 로봇: HUSCOR, 『대한건축학회논문집』, 23권8호, 대한건축학회, p.p.201.
- 고려대학교, 로봇틱 크레인 기반 고층건물 구조체 시공 자동화 시스템 개발, 한국건설교통기술평가원, 2008.
- 김영석. (2006). 건설자동화 로봇 기술 개발 어디까지 왔나. 건설저널.
- 이준복. (2007). 건설자동화 및 로봇화 기술의 현재와 미래. 대한건축학회.
- 김지훈 외. (2021). 스마트 건설자동화 R&D 단계별 전문가 그룹의 역할과 책임분석.

- 박상민 외. (2022). 인간 - 기계 인터페이스와 건설로봇의 협업 효율성 향상 방안 연구.
- 이수연 외. (2020). 철골구조물 조립 자동화를 위한 로봇핸드 개발 및 실증.
- 정유진 외. (2023). 국내건설 내 . 외장재 설치 로봇 기술 현황 및 적용성 평가 : HUSCOR 사례.
- 최한결 외. (2024). 건설로봇 도입에 대한 국내 건설업 종사자 인식 변화 연구.
- 홍성철 외. (2023). 건설시공 자동화 시스템의 현황과 발전방안 : 3D프린팅 및 드론 활용 중심.
- 김영석 외. 건설자동화 기술 로드맵 및 연구 개발 활성화 전략.
- 임현호 외. (2023). 안전성 및 생산성을 고려한 건설 로봇 도입 영향 분석 및 자동화 요구도 지수 개발 『고려대학교 건축공학과 석사논문』.
- 이준복 외. (2003). 건설자동화 기술적 로드맵 작성을 위한 연구, 『대한건축학회논문집』, 19권5호, 대한건축학회, p.p.95.
- 이철호, 이재영, 이학기. (1999). 거푸집공사에서 발생하는 중대재해의 유형 및 원인에 관한 연구, 『대한건축학회 부산경남지회 논문집』, 6(1), p.p.1-8.
- 이철호. (2000). 거푸집공사에서 중대재해의 원인 및 개선방안에 관한 연구 『석사학위논문』, 동아대학교 산업대학원.
- 주한중 외. (2007.4). 건설로봇도입에 대한 국내 건설업자들의 인식에 관한 연구, 『한국건축시공학회 학술, 기술논문발표회 논문집』, v.7 n.1.
- 한국산업공단. (1997~2006). 건설중대 재해 사례와 대책.
- 홍성걸. (2007). 건물시공 자동화 시스템 형상 및 특성에 관한 연구 및 개선 방안, 『대한건축학회논문집』, 27권1호 대한건축학회, p.p.381.
- 홍현석, 여성진, 정영훈, 김창덕. (2004). 철골공사 재해다발공정의 안전관리를 위한 체크리스트 개발에 관한 연구, 『한국건설학회 학술발표대회

논문집』 p.p.552-555.

고성석, 송혁, 이종빈. 건축공사 재해특성에 관한연구, 『전남대학교, 전남대학교 공업기술연구소,부경대학교 안전공학과』.

건설부제정, 건축공사표준시방서, 『대한건축학회』.

노동부, (1994~1996) 산업재해원인분석.

노동부, (1994~1996) 산업안전분석.

남충희. 외16인. (1997) 건설관리 및 경영, 『보성각』.

(주) 대우건설. 위험성평가 및 등록관리.

대한주택공사. (1998). 주택공사비분석자료.

오준호. (2002.8). 재해사례 분석을 통한 거푸집공사 안전관리 방안 p.p. 40-54.

한국산업안전공단. (1999)건설공사 종류별 위험도 조사 및 정량화 지수연구.

한국산업안전공단. (1992~2002) 건설 중대재해 사례와 대책.

고성석. (2005). 재해사례 분석을 통한 빌딩공사 재해 특성.

김백중, 조훈희, 강경인. (2006). 철골조립공사 자동화를 위한 프로세스 분석 및평가,『2006년도 첨단융합건설기술개발사업[과제번호: 06첨단융합 D01].

김동건, 양성우, 김태훈, 신윤석, 조훈희, 강경인. (2009). 건축물 시공 자동화 시스템을 위한 자립형 철골 접합부의 시공성 분석, 『2009년 춘계학술발표대회 논문집』, 제9권1호, 통권 제16집.

최정필, 김경환, 김재준. (2009). 건설자동화를 위한 철골공사 계획의 의사결정 영향요인에 관한 연구, 『2009년 춘계학술발표대회 논문집』, 제9권 1호, 통권 제16집.

이명도, 김대원, 이보형, 조훈희, 강경인. (2009). 철골조립자동화시스템의 설계최적화를 위한 요구 성능도출에 관한 연구, 『2009년 춘계학술발표대회 논문집』, 제9권 2호, 통권 제17집.

- 이준복. (2007.6). 건설자동화 및 로봇화 기술의 현재와 미래, 『건축.대한건축학회지』, 51(6), 25-27.
- 이학주. (2010). 자동화 시스템을 적용한 철골 조립 시공의 공정 계획 모델개발.
- 서울대학교. (2023.12). 건설현장 증강현실 기반 인간-로봇현장 협업 기술개발 (건설현장 다목적 고소작업을 위한 로봇 플랫폼 및 인간-로봇 협업 기술 개발) 공동기획 연구 보고서.
- 조수빈, 박성진, 유범재, 박정민. (2025). XR 기반 실시간 인간-로봇 원격 제어인터페이스『한국정보처리학회』2025, vol, 14, no.3, 통권 150호 pp.179-185(7 pages).

ABSTRACT

Aconsideration of Automation systems for construction site
safety management
– Automated Work Systems and Accident Case Studies at
Construction Sites –

Seo, Jin-Soo,
Major in Social Disaster and Safety
Management
Dept. of Social Disaster and Safety
Graduate School of Public
Administration
Hansung University

Construction is a labor intensive industry. However, due to its perceived status as a "3D" industry, it is currently unable to meet the demand for skilled workers. This is leading to a gradual shortage of skilled workers and an aging population, which is further exacerbating the problem.

Recent domestic and international construction trends are significantly increasing the likelihood of serious accidents due to the increasing size and height of buildings, the use of large construction equipment utilizing cutting-edge technologies, and the development of new construction methods and technologies. In particular, the construction industry, due to its human-centric nature, is highly vulnerable to safety accidents.

Furthermore, with the ongoing shortage of workers and an aging population, the advancement of a safer construction site environment is becoming increasingly crucial.

Among the various methods for managing a safe and precise construction environment, construction site automation systems, along with the advancement of cutting edge technologies in the 21st century, can provide a new direction and alternative for construction sites.

However, construction equipment automation systems, which are expected to require significant research and development, require guidelines that reflect the specific safety characteristics of construction sites in their initial stages to truly achieve their intended goals. By focusing on developing standardized functions of construction automation acquired through various methods, we can ultimately resolve, improve, and establish a foundation for practical application in the field.

Considering the safety of these high-risk construction sites, we aim to improve productivity by replacing labor per unit of work. This system can serve as a benchmark for future domestic construction automation and serve as a cornerstone for the advancement of the construction industry.

This study focuses on steel construction, which boasts the highest level of standardization and the highest number of accidents per worker, among key concrete construction projects. This study aims to provide comprehensive guidelines while considering safety, technical feasibility, and productivity enhancements at construction sites. This study focused on steel construction, which boasts the highest level of standardization and the highest number of accidents per worker, making it ideal for automated system development.

The research method involved analyzing past statistical data to prioritize the causes and processes of major safety accidents. This approach

overcomes the backward-looking limitations of statistical data and enables productivity and automation of elements not yet standardized in construction. This analysis leverages the expertise and knowledge of various experts. We aim to reflect our experiences.

To overcome these challenges, various changes are being attempted in the construction industry.

In particular, steelwork is one of the construction types that requires significant automation, considering the shift toward high-rise buildings. Despite its significant impact on the safety and durability of buildings, steelwork suffers from extremely poor working conditions and a chronic shortage of skilled workers, leading to a significant need for automation.

【Key words】 Construction site worker safety. Demand for steelwork automation. Activation of construction equipment automation systems.