

연구보고서

건설현장 이동식 비계의 안전성과 현장 적용성 개선 연구

박주동·강성윤·이동규·정원식·이상곤·김가영·이민우

산업재해예방

안전보건공단

산업안전보건연구원



요 약 문

- 연구기간 2021년 2월 ~ 2021년 11월
- 핵심단어 이동식 비계, 선행안전난간대, 바퀴 부착형 아웃트리거, 구조성능 평가
- 연구과제명 건설현장 이동식 비계의 안전성과 현장 적용성 개선 연구

1. 연구배경

- 국내 사고성 사망자의 50% 이상을 차지하는 건설업의 산업재해 예방을 위해 다양한 제도개선과 기술적 대안에 관한 연구가 이루어져 왔으나, 건설현장의 낮은 높이 작업용 이동식 비계와 사다리에서 최근 5년간 (2016~2020년) 연평균 30명의 사고성 사망자 및 2,578명의 사고성 재해자가 발생하였음.
- 건설현장의 이동식 비계를 이용한 작업 시 안전기준에 맞게 설치·사용하는 것이 안전하나, 안전난간 미설치 사례가 빈번하며, 설치·운반의 불편 등으로 이동식 비계 대신 이동식 사다리 등을 이용한 작업 중 추락재해가 지속적으로 발생하고 있는 실정임.
- 따라서 국내 건설현장의 사고성 재해 예방을 위해 이동식 비계의 사용실태 조사와 해외 사례 벤치마킹 및 이해관계자의 의견수렴 등을 통해 안전성과 현장 적용성이 개선된 이동식 비계 모델(안)을 제시하고자 함.

2. 주요 연구내용

○ 선행연구 분석

이동식 비계 등 낮은 높이용 작업발판 관련 재해예방 연구와 이동식 비계 관련 구조성능 및 안전인증 연구에 대한 분석결과 이동식 비계의 작업 안전성과 사용 시 불편한 사항 등을 종합적으로 고려한 이동식 비계의 안전작업에 관한 연구는 미흡한 것으로 나타나, 이동식 비계의 사용상 문제점과 위험요인을 개선한 안전하고 편리한 이동식 비계를 개발할 필요성이 높은 것으로 파악됨.

○ 이동식 비계 관련 기준 고찰

국내 이동식 비계는 방호장치 안전인증 고시에 따라 의무안전인증 대상으로 구조와 규격 및 성능이 규정되어 있어, 다양한 제품의 개발이 어려운 실정임. 주틀의 경우 폭 1.2~1.6m로 규격화되어 좁은 장소에서 사용이 어렵고, 아웃트리거의 경우에도 너비(폭) 0.6m 이상이고, 높이는 너비의 2배 이상으로 규정하고 있어, 주틀의 높이와 관계없이 크고 무거운 아웃트리거를 사용해야 하므로 해외 표준규격(EN 규격 등)을 참조하여 관련 기준 개정이 필요함.

○ 이동식 비계 중대재해 및 실태조사 분석

• 중대재해 분석

최근 10년간(2011년~2020년) 건설업의 이동식 비계 사고성 사망자는 총 117명으로 연평균 11.7명이 발생하였으며, 그 중 88%를 차지하는 추락재해(103명)의 주요 원인(기인물)은 안전난간 73.8%(76명), 승강용 사다리 23.3%(24명), 작업발판 2.9%(3명) 순으로 분석되어, 안전난간은 설치가 용이하고, 하부에서

설치할 수 있도록 개선이 필요하며, 주틀 내부에서 승강토록 기술적·제도적 개선이 필요함.

• 실태조사 분석

이동식 비계의 추락재해 예방을 위해 우선적으로 개선해야 할 사항은 1) 좁은 장소에서도 작업이 가능하도록 개선 2) 안전난간을 미리 설치할 수 있는 기술 적용 3) 승강은 주틀의 내부 계단이나 사다리를 사용할 수 있도록 개폐형 작업 발판 적용 4) 일정 높이 마다 작업발판을 설치할 수 있도록 개선 5) 이동식 비계의 사용 높이에 적합한 아웃트리거를 사용할 수 있도록 개선 6) 다양한 종류의 이동식 비계 개발·보급을 위해 국제적으로 인정되는 표준규격(EN 등)에 따라 설계 후 안전성이 검증되면 사용할 수 있도록 하는 등 개선이 필요한 것으로 분석됨.

○ 이동식 비계 개선 모델(안) 및 구조안전성 평가

이동식 비계 관련 기준 고찰과 중대재해 및 실태조사 분석 결과를 토대로 이동식 비계의 구성요소 개선모델을 제시하였고, 동 모델에 대해 구조검토와 실험시험을 실시한 결과 모든 부재는 현행 고시의 성능기준을 만족하는 것으로 평가됨. 개선 모델에 대한 전문가 회의 결과 작업자의 추락예방과 비계 전도(뒤집힘)사고 예방에 효과적인 것으로 평가됨. 이동식 비계의 안전한 사용을 위해 이동식 비계 설치 및 사용안전 기술지침 개정(안)을 제시하였으며, 주요 내용으로는 선행안전난간대와 바퀴 부착형 아웃트리거를 반영하였고, 개별 부재의 국내 기준이 없는 경우 국제 표준규격에서 정하는 기준에 따라 사용할 수 있도록 제안하였으며, 승강 시 내부 계단이나 계단형 사다리를 사용하도록 제시함.

3. 연구 활용방안

- 안전성과 사용 편의성을 개선한 이동식 비계의 건설현장 보급을 통해 사망 사고 예방에 기여
- 방호장치 안전인증 고시 등 국가기준 개정 시 근거자료로 활용
- 의무안전인증 비대상인 이동식 비계의 임의안전인증(S마크) 취득 시 활용
- KOSHA GUIDE(이동식 비계 설치 및 사용안전 기술지침) 개정에 활용
- 산업안전분야 학계 발표 및 논문 게재

4. 연락처

- 연구책임자 : 산업안전보건연구원 산업안전연구부 연구위원 박주동
 - ☎ 052) 7030. 844
 - E-mail : likeaceo99@kosha.or.kr

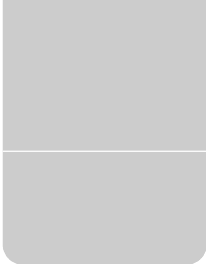
목 차

I. 서 론	1
1. 연구 배경 및 목적	3
2. 연구 내용 및 방법	5
3. 선행연구 분석 및 연구방향	8
II. 이동식 비계 관련 기준 고찰	15
1. 이동식 비계 일반사항	17
1) 이동식 비계의 개요	17
2) 이동식 비계의 구성 및 특징	17
3) 이동식 비계의 재료 및 규격	24
4) 이동식 비계의 성능시험 기준	28
2. 이동식 비계의 국내·외 안전기준	36
1) 국내 안전기준	36
2) 국외 안전기준	40
3. 이동식 비계의 국내·외 제품군 현황	45
1) 국내 이동식 비계 제품군 현황	45
2) 국외 이동식 비계 제품군 현황	47
3) 국내 이동식 비계 안전인증 현황	48
4. 시사점	51

목 차

Ⅲ. 이동식 비계 중대재해 및 실태조사 분석	53
1. 최근 10년간 이동식 비계 중대재해 분석	55
1) 개요	55
2) 이동식 비계 사고사망자 상세 분석	56
3) 사망사고 발생 이동식 비계의 안전시설 설치 실태	62
4) 이동식 비계 중대재해 주요 사례	63
2. 이동식 비계 사용 실태조사 및 분석	73
1) 이동식 비계 이해관계자 인터뷰	73
2) 소규모 현장의 이동식 비계 사용 실태	77
3) 설문지 개발, 내용 및 설문방법	78
4) 설문 결과	81
3. 소결	94
Ⅳ. 이동식 비계 개선 모델(안) 및 구조안전성 평가	97
1. 이동식 비계 개선 모델(안)	99
1) 개발 방향	99
2) 이동식 비계 개선 모델	100

2. 이동식 비계 구조안전성 평가	111
1) 구조해석 개요	111
2) 구조해석 방법	113
3) 구조해석 결과	116
3. 이동식 비계 실물 시험	125
1) 시험체	125
2) 시험방법	126
3) 시험결과	130
4. 이동식 비계의 현장 적용성 개선 모델(안)	141
1) 현장 적용성 개선 모델 개요	141
2) 현장 적용성 개선 모델 실물시험	143
3) 이동식 비계 설치 및 사용안전 기술지침 개정(안)	146
5. 소결	148
V. 결 론	151



목 차

참고문헌	157
Abstract	161
부 록	165
부록 1 : 설문조사지	167
부록 2 : 이동식 비계 설치 및 사용안전 기술지침 개정(안)	173

표 목차

〈표 Ⅰ-1〉 최근 5년간 낮은 높이용 작업발판의 사고성 재해 현황	4
〈표 Ⅰ-2〉 연구의 내용, 범위 및 방법	6
〈표 Ⅰ-3〉 낮은 높이용 작업발판 재해예방 관련 연구	10
〈표 Ⅰ-4〉 이동식 비계의 구조성능 및 안전인증 연구	12
〈표 Ⅱ-1〉 이동식 비계, 말비계 및 이동식 사다리의 특징	23
〈표 Ⅱ-2〉 이동식 비계용 부재의 재료	24
〈표 Ⅱ-3〉 이동식 비계용 부재의 구조와 규격	26
〈표 Ⅱ-4〉 주틀의 시험성능기준	28
〈표 Ⅱ-5〉 발바퀴의 시험성능기준	30
〈표 Ⅱ-6〉 난간틀의 시험성능기준	31
〈표 Ⅱ-7〉 교차가새의 시험성능기준	32
〈표 Ⅱ-8〉 아웃트리거의 시험성능기준	33
〈표 Ⅱ-9〉 작업발판의 시험성능기준	34
〈표 Ⅱ-10〉 이동식 비계의 안전기준	36
〈표 Ⅱ-11〉 발바퀴의 주축간격(L)	37
〈표 Ⅱ-12〉 DIN EN 1004의 이동식 비계의 설계 및 성능기준	41
〈표 Ⅱ-13〉 구조물의 부분별 작용하중(DIN EN 1004)	42
〈표 Ⅱ-14〉 최대사용높이 산정 기준(DIN EN 1004)	43
〈표 Ⅱ-15〉 누적변위에 따른 최대사용높이 산정(예시)	43
〈표 Ⅱ-16〉 ANSI/ASSP A10.8-2019의 이동식 비계 안전기준	44
〈표 Ⅱ-17〉 이동식 비계 구성요소별 의무안전인증 현황	49
〈표 Ⅱ-18〉 이동식 비계의 임의안전인증 현황	50

표 목차

〈표 Ⅲ-1〉 최근 10년간 건설업 사고사망자 현황	55
〈표 Ⅲ-2〉 발생형태별 현황	56
〈표 Ⅲ-3〉 떨어짐 재해 원인별 현황	57
〈표 Ⅲ-4〉 뒤집힘(전도)·무너짐(붕괴) 재해 원인별 현황	57
〈표 Ⅲ-5〉 추락높이별 현황	58
〈표 Ⅲ-6〉 주틀 설치단수별 현황	58
〈표 Ⅲ-7〉 발생형태-주틀 설치단수별 현황	59
〈표 Ⅲ-8〉 직종별 현황	59
〈표 Ⅲ-9〉 공사규모-공사종류별 현황	61
〈표 Ⅲ-10〉 국적별 현황	61
〈표 Ⅲ-11〉 주요 안전시설 설치 실태	62
〈표 Ⅲ-12〉 설문조사 모형의 구성	79
〈표 Ⅲ-13〉 최근 1년 이내 이동식 비계 사용 등 경험 여부	80
〈표 Ⅲ-14〉 응답자의 일반적 특성	81
〈표 Ⅲ-15〉 이동식 비계 사고 다발 유형	83
〈표 Ⅲ-16〉 이동식 비계 사용 중 또는 설치·해체 시 불편 여부	84
〈표 Ⅲ-17〉 이동식 비계 사용 중 또는 설치·해체 시 불편 사항	85
〈표 Ⅲ-18〉 작업발판 설치·해체 및 사용 중 위험 또는 불편 사항	86
〈표 Ⅲ-19〉 작업발판 적정 설치 여부	87
〈표 Ⅲ-20〉 작업발판을 적정하게 설치하지 않는 이유	87
〈표 Ⅲ-21〉 이동식 비계 내부 계단 설치 여부	88

〈표 III-22〉 내부 계단 미설치 이유	88
〈표 III-23〉 주틀의 사다리로 승강한 경험 유무	89
〈표 III-24〉 주틀의 사다리 이외 승강설비 종류	89
〈표 III-25〉 이동식 비계 보관 및 운송 시 불편 여부	90
〈표 III-26〉 이동식 비계 보관 및 운송 시 불편한 이유	90
〈표 III-27〉 이동식 비계 1단에서 추락 시 상해 정도	91
〈표 III-28〉 이동식 비계 1단에서 추락 시 상해 부위	91
〈표 III-29〉 이동식 비계 기술 및 제도개선에 대한 의견	92
〈표 IV-1〉 이동식 비계 구성요소별 검토항목, 강종 및 제원	111
〈표 IV-2〉 주틀 A형의 구조해석 결과	116
〈표 IV-3〉 주틀 C형의 구조해석 결과	117
〈표 IV-4〉 주틀 B형과 개선된 주틀 B형의 구조해석 결과	119
〈표 IV-5〉 수직재 보강형 아웃트리거의 구조해석 결과	120
〈표 IV-6〉 수직재 제거형 아웃트리거의 구조해석 결과	121
〈표 IV-7〉 길이조절형 수평재의 휨 및 전단 해석결과	122
〈표 IV-8〉 안전난간대(수평재)의 구조해석 결과	123
〈표 IV-9〉 보조수직재의 구조해석 결과	124
〈표 IV-10〉 이동식 비계 구성요소별 실물시험 요약표	126
〈표 IV-11〉 주틀 시험 개요	127
〈표 IV-12〉 아웃트리거의 시험 개요	127

표 목차

〈표 IV-13〉 길이조절형 수평재의 시험 개요	128
〈표 IV-14〉 이동식 비계의 선행안전난간대 시험 개요	129
〈표 IV-15〉 주틀 A형과 C형의 처짐 시험 결과	132
〈표 IV-16〉 주틀 A형, C형 및 A+C형 압축강도시험 결과	134
〈표 IV-17〉 아웃트리거 처짐 및 압축강도시험 결과	137
〈표 IV-18〉 길이조절형 수평재의 휨 및 전단시험 결과	139
〈표 IV-19〉 선행안전난간대의 처짐 및 휨강도 시험 결과	140
〈표 IV-20〉 이동식 비계 설치 및 사용안전 기술지침 개정(안) 변경 내용	146

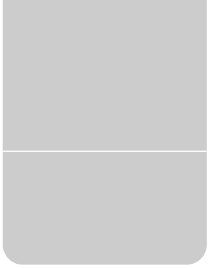
그림목차

[그림 Ⅰ-1] 연구수행 과정	7
[그림 Ⅱ-1] 이동식 비계 설치(예)	18
[그림 Ⅱ-2] 주틀	19
[그림 Ⅱ-3] 발바퀴	19
[그림 Ⅱ-4] 난간틀	19
[그림 Ⅱ-5] 아웃트리거	20
[그림 Ⅱ-6] 교차가새	20
[그림 Ⅱ-7] 작업발판	21
[그림 Ⅱ-8] 개폐형 작업발판(예시)	21
[그림 Ⅱ-9] 주틀의 성능시험	29
[그림 Ⅱ-10] 발바퀴의 성능시험	30
[그림 Ⅱ-11] 난간틀의 성능시험	31
[그림 Ⅱ-12] 교차가새의 압축 성능시험	32
[그림 Ⅱ-13] 아웃트리거의 성능시험	33
[그림 Ⅱ-14] 작업발판의 성능시험	35
[그림 Ⅱ-15] 이동식 비계 설치 순서도	39
[그림 Ⅱ-16] 강성시험에 적용되는 수평하중과 변위 측정 및 허용변위	43
[그림 Ⅱ-17] 건설현장의 낮은 높이용 작업발판(예시)	45
[그림 Ⅱ-18] 국내 이동식 비계의 종류(예시)	46
[그림 Ⅱ-19] 국외 이동식 비계의 종류(예시)	47
[그림 Ⅱ-20] 이동식 소형타워 안전작업대(S마크 인증품) (예시)	50

그림목차

[그림 Ⅲ-1] 이동식 비계 중대재해 분류체계도	64
[그림 Ⅲ-2] 이동식 비계 설치 중 추락 사례	65
[그림 Ⅲ-3] 이동식 비계 상부 안전난간 미설치 또는 설치 미흡 사례	65
[그림 Ⅲ-4] 안전난간 미폐합 및 중간난간 미설치 사례	66
[그림 Ⅲ-5] 주틀 수평재 위치에 작업발판 설치 사례	66
[그림 Ⅲ-6] 작업발판 상부 구조물 등의 간섭으로 안전난간 미설치 사례	67
[그림 Ⅲ-7] 작업발판 설치 미흡 및 미설치 사례	67
[그림 Ⅲ-8] 이동식 비계에서 내려오던 중 추락한 사례	68
[그림 Ⅲ-9] 이동식 비계 불시 이동으로 단차구간에서 전도된 사례	69
[그림 Ⅲ-10] 작업발판 위 사다리 설치·사용 중 전도된 사례	69
[그림 Ⅲ-11] 불균형 등으로 전도된 사례	70
[그림 Ⅲ-12] 안전난간 밖으로 몸을 내밀고 작업 중 전도된 사례	71
[그림 Ⅲ-13] 이동식 비계 교차가새 설치 불량으로 무너진 사례	72
[그림 Ⅲ-14] 이동식 비계(1단) 설치·사용 실태	78
[그림 Ⅲ-15] 이동식 비계(2단) 설치·사용 실태	78
[그림 Ⅳ-1] 가변형 다단 주틀의 개념도	101
[그림 Ⅳ-2] 바퀴부착형 아웃트리거 및 잭베이스 개념도	102
[그림 Ⅳ-3] 이동식 비계용 선행안전난간대 개념도	103
[그림 Ⅳ-4] 시스템비계의 선행안전난간대 설치 순서	103
[그림 Ⅳ-5] 스프링 ㄷ형 환봉을 이용한 분리형 가설계단 개념도	104

[그림 IV-6] 인장 및 압축하중에 저항할 수 있는 길이 조절용 부재 개념도	104
[그림 IV-7] 선행안전난간을 적용한 가변형 다단 이동식 비계 개념도	106
[그림 IV-8] 이동식 비계 개선모델(2종)	108
[그림 IV-9] 아웃트리거 형상 비교	109
[그림 IV-10] 아웃트리거 위상최적화 설계 시뮬레이션 형상	110
[그림 IV-11] 이동식 비계의 부재별 제작도	112
[그림 IV-12] 이동식 비계 주틀의 압축 모델링도	113
[그림 IV-13] 이동식 비계 주틀의 처짐 모델링도	113
[그림 IV-14] 이동식 비계 아웃트리거 모델링도	114
[그림 IV-15] 이동식 비계 길이조절용 수평재 모델링도	115
[그림 IV-16] 이동식 비계 선행안전난간대 모델링도	115
[그림 IV-17] 부재별 시험체 제작 사진 및 중량	125
[그림 IV-18] 주틀 A형과 C형의 처짐 시험	130
[그림 IV-19] 주틀 A형과 C형의 하중-변위 곡선	131
[그림 IV-20] 주틀 A형 압축강도시험	132
[그림 IV-21] 주틀 C형 압축강도시험	133
[그림 IV-22] 주틀 A+C형 압축강도시험	133
[그림 IV-23] 주틀 A형, C형 및 A+C형의 압축강도시험 하중-변위 곡선	134
[그림 IV-24] 아웃트리거 발바퀴의 받침철물 위치 변경	135
[그림 IV-25] 아웃트리거의 처짐 및 압축강도시험	135
[그림 IV-26] 아웃트리거의 처짐 및 압축강도시험 하중-변위 곡선	136



그림목차

[그림 IV-27] 길이조절형 수평재 전단시험	137
[그림 IV-28] 길이조절형 수평재 전단시험의 하중-변위 곡선	138
[그림 IV-29] 길이조절형 수평재 휨시험	138
[그림 IV-30] 길이조절형 수평재 휨시험의 하중-변위 곡선	139
[그림 IV-31] 개선된 이동식 비계 설치 모습	141
[그림 IV-32] 개선된 이동식 비계 모델 최종(안)	143
[그림 IV-33] 이동식 비계 조립체 강성시험(X방향 및 Y방향)	144
[그림 IV-34] 이동식 비계 조립체 압축강도시험	145

I. 서론

.....

I. 서 론

1. 연구 배경 및 목적

1) 연구배경 및 목적

국내 사고사망자의 50% 이상을 차지하는 건설업의 산업재해 예방을 위해 정부에서는 다양한 제도개선과 지도·점검 및 기술적 대안에 관한 연구를 추진 하였으나, 건설업의 사망재해는 증감을 반복하고 있다. 안전보건공단 자료에 따르면 최근 5년간(2016년~2020년) 건설현장에서 추락사고로 사망한 근로자는 1,348명이며, 전체 건설현장 사고사망자의 56.7%(2,376명)를 차지하였다(안전보건공단, 2021). 건설현장에서는 고소작업 시 비계(Scaffolding)를 조립하는 등의 방법으로 작업발판을 설치해야 한다. 건설현장에서 사용하는 비계는 일반적으로 강관비계, 시스템비계, 강관틀비계, 이동식 비계, 말비계, 달비계, 달대비계, 작업발판 일체형 비계 등 다양한 종류가 있다(KOSHA GUIDE C-30-2018, 2018; 고용노동부 등, 2019; 박주동 등, 2020). 낮은 높이¹⁾에 설치하여 인력으로 이동하며 사용할 수 있는 비계는 이동식 비계와 말비계가 있고, 낮은 높이의 단순 작업 용도로 이동식 사다리(A형 등)도 많이 사용되고 있는 실정이다. 이동식 비계의 경우 중·소규모 건설현장 뿐만 아니라 초고층 건축물²⁾ 등 대규모 건설현장에서도 많이 사용하고 있다. 건설현장의 이동식 비계(일명 이동식 BT틀비계)와 이동식 사다리에서 최근 5년간 <표 I-1>과 같이 연평균 30명의 사고성 사망자 및 2,578명의 사고성 재해자가 발생하였다. 또한 2020년 기준, 이동식 비계의 사고재해자 중 떨어짐(추락)에서 95%(448명) 발생하였고, 이동식 사다리의 사고성재해자 중 97%(1,946명)가 떨어짐(추락)

1) 낮은 높이는 일반적으로 건축물 1개 층(약 3m)의 높이를 기준하여 정의한 것으로 작업장의 높이가 3m 미만에서 발생한 추락재해를 낮은 추락재해라 함.(송인용, 2007, 재인용)

2) 층수가 50층 이상이거나 높이가 200m 이상인 건축물(건축법 시행령 제2조)

재해로 나타나, 낮은 높이에서 사용하는 작업발판(이동식 비계와 사다리)에서 떨어짐재해의 점유율이 매우 높은 것으로 나타났다³⁾. 이는 이동식 비계 등 낮은 높이용 작업발판에서 작업 시 안전기준을 준수하지 않거나, 실제로 준수하기가 어려운 것으로 알려지고 있다.

〈표 I-1〉 최근 5년간 낮은 높이용 작업발판의 사고성 재해 현황

(단위 : 명, %)

구분	5년 평균		2020		2019		2018		2017		2016	
	사망자	재해자	사망자	재해자	사망자	재해자	사망자	재해자	사망자	재해자	사망자	재해자
건설업 전체	475	25,364	458	24,617	428	25,298	485	26,486	506	24,718	499	25,701
소계 (점유율)	30 (6.3)	2,578 (10.2)	23 (5.0)	2,480 (10.1)	48 (11.2)	2,541 (10)	37 (7.6)	2,723 (10.3)	24 (4.7)	2,616 (10.6)	18 (3.6)	2,531 (9.8)
이동식 비계 (점유율)	10 (2.1)	533 (2.1)	10 (2.2)	473 (1.9)	19 (4.4)	569 (2.2)	9 (1.9)	536 (2.0)	8 (1.6)	592 (2.4)	4 (0.8)	497 (1.9)
이동식 사다리 (점유율)	20 (4.2)	2,045 (8.1)	13 (2.8)	2,007 (8.2)	29 (6.8)	1,972 (7.8)	28 (5.8)	2,187 (8.3)	16 (3.2)	2,024 (8.2)	14 (2.8)	2,034 (7.9)

* 2020년 사고재해자의 추락 점유율 : 이동식 비계 95%(448명), 이동식 사다리 97%(1,946명)

특히 이동식 비계의 경우, 안전기준에 맞게 안전난간 등의 안전시설을 적기에 설치·사용하는 것이 안전하나, 안전난간 미설치 사례가 빈번하며, 설치·운반의 불편 등으로 이동식 비계 대신 이동식 사다리나 말비계를 사용하면서 작업 중 추락하는 재해가 지속해서 발생하고 있다.

본 연구는 초고층 등 대규모와 중·소규모 건설현장들에서 사용하는 이동식 비계의 안전성 확보를 위해 선행연구 분석, 중대재해와 실태조사 분석 후 이동식 비계 구성요소 개선 모델(안)을 제시하고, 구조해석과 실물시험을 통해 구조 안전성 평가를 하여, 이동식 비계의 현장 적용성(안전성과 사용 편의성) 개선 모델과 『이동식 비계 설치 및 사용안전 기술지침』 개정(안)을 제안하고자 한다.

3) 2020년 건설업 사고(성)재해현황(안전보건공단)

2) 연구목표

본 연구의 수행을 통해 현행 이동식 비계의 사용상 문제점 도출과 해외 선진국의 이동식 비계 등 낮은 높이용 비계에 관한 기술기준 비교분석 결과를 토대로 국내 실정에 맞는 개선된 이동식 비계 시제품 개발 및 모델(안)을 제시하고, 이동식 비계의 안전작업 기준(안)을 제안하고자 한다.

2. 연구 내용 및 방법

본 연구는 낮은 높이에서 사용하는 이동식 비계의 안전한 작업을 위해 안전성과 현장 적용성을 개선한 안전모델 제시를 목적으로 하고 있다. 이러한 연구 목적을 달성하기 위한 연구 내용, 범위 및 방법은 다음과 같다. 요약한 자료는 <표 I-2>이며, 개략적인 연구의 흐름을 도식화하면 [그림 I-1]과 같다.

첫째, 본 연구는 초고층 건축물을 포함한 대규모 및 중·소규모 건설현장의 이동식 비계에 대한 안전성과 현장 적용성 개선 모델 제시가 목적이므로 본 연구에서는 초고층 건설작업의 안전성 강화 내용 중 이동식 비계와 관련된 내용(중대재해와 설문조사 분석)으로 한정하였다.

둘째, 건설현장의 이동식 비계와 관련된 국내·외 안전기준, 국가표준 등의 기준, 선행연구와 관련 문헌을 고찰하고 분석하는 것이다. 이동식 비계와 관련된 일반사항과 안전기준, 설계와 시공에 관한 세부적인 기준과 국내·외 이동식 비계의 안전기준을 비교·분석하였다.

셋째, 국내·외 생산 유통되는 이동식 비계 등 낮은 높이용 작업발판 현황 분석을 실시하고, 사용자 안전매뉴얼을 분석하였다. 이를 토대로 제품별 사용상 문제점과 위험요인 분석을 통해 이동식 비계 개선(안)을 도출하였다.

넷째, 최근 5년간 건설업의 이동식 비계 관련 중대재해 상세분석(초고층 현장 포함)을 통해 재해의 특성을 도출하였고, 이동식 비계 사용현장의 이해관계자 인터뷰 및 설문조사를 통해 이동식 비계의 문제점과 개선의견을 반영하여 이동식 비계의 개선품에 대한 개발 방향을 설정하였다.

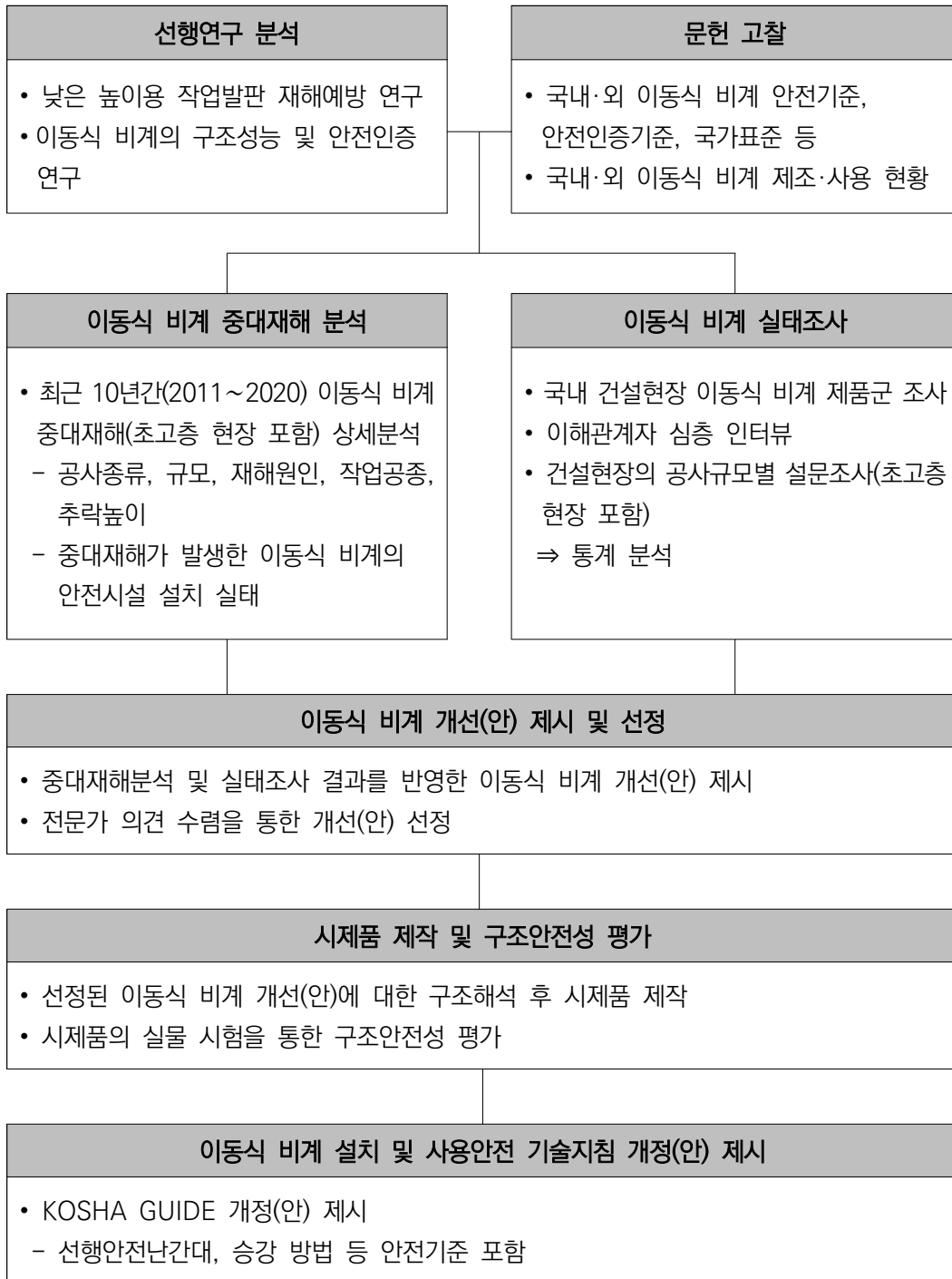
다섯째, 이동식 비계의 문제점과 개선방안을 토대로 편리하고 안전한 이동식 비계 개선(안)의 3차원 모델링 결과에 대해 관계전문가 회의를 통해 적합 모델을 선정하였다.

여섯째, 선정된 개선(안)에 대한 구조해석을 통해 구조안전성 확인 후 시제품 제작 후 실물시험을 통해 구조안전성을 평가하였고, 이를 토대로 이동식 비계 개선(안)의 안전작업기준을 제시하였다.

〈표 I-2〉 연구의 내용, 범위 및 방법

연구내용	연구범위 및 방법
선행연구 및 문헌 고찰	- 이동식 비계 관련 연구자료 및 문헌조사 - 낮은 높이용 작업발판의 재해예방 연구 등 선행연구 - 국내·외 안전기준, 안전인증기준, 국가표준 등 관련 법령 - 국내·외 제조·사용 현황
이동식 비계 관련 중대재해 분석	- 최근 10년간 이동식 비계 중대재해(초고층 현장 포함) 상세 분석 - 공사종류, 규모, 재해원인, 작업공종, 추락높이 등 - 중대재해가 발생한 이동식 비계의 안전시설 설치 실태
이동식 비계 관련 실태조사	- 이동식 비계 관련 현장 실태조사 - 국내 건설현장 이동식 비계 제품군 현황 - 건설현장*의 이해관계자 심층 인터뷰 및 설문조사
이동식 비계 개선(안) 제시	- 이동식 비계 개선(안)에 대한 안전성 및 현장 적용성 검토 - 이동식 비계 3차원 모델링 - 관련 전문가 및 현장관계자 의견 수렴
이동식 비계 구조안전성 평가 및 안전기술지침 개정(안) 제시	- 이동식 비계 개선(안) 시제품 제작 및 구조안전성 평가 - 시제품에 대한 구조해석, 실물 시험 및 안전성 검증 - 이동식 비계 설치 및 사용안전 기술지침 개정(안) 제시

* 실태조사 시 초고층 건설현장(5건 이상) 포함



[그림 I-1] 연구수행 과정

3. 선행연구 분석 및 연구방향

1) 선행연구 분석

본 연구의 이론적 배경은 이동식 비계 등 낮은 높이용 작업발판 관련 재해 예방 연구와 이동식 비계 관련 구조성능 및 안전인증 연구로 크게 분류할 수 있다. 기존 연구의 고찰을 통해 이동식 비계의 사용상 문제점과 안전기준의 현장 적용성에 대한 분석을 실시하여 이동식 비계의 안전모델을 제시하고자 한다. 따라서 본 절에서는 연구동향을 파악하여 연구의 방향을 설정하고자 하였다.

(1) 낮은 높이용 작업발판 관련 재해예방 연구

이동식 비계 등 낮은 높이용 작업발판의 재해예방과 관련된 선행연구는 다음과 같으며, <표 I-3>에 주요 내용을 간략하게 정리하였다. 송인용 등(2007)의 ‘추락 2.5 재해특성 분석 및 안전장치 개발 연구’에서는 낮은 높이용 작업대의 추락재해 원인 분석을 통해 문제점을 도출하고 해결방안으로 전동식 작업대와 접이식 작업대를 개발하였으나, 전동식 작업대의 경우 운반이 어렵고, 접이식 작업대의 경우 말비계에 바퀴를 설치한 형태로 여전히 추락위험이 있는 것으로 판단된다. 최돈홍 등(2010)의 ‘건설현장 작업발판 사용실태 조사 연구’에서는 이동식 비계 등 건설현장의 작업발판 실태조사를 통해 작업발판 설치·사용 지침 변경(안)을 제시하였고, 현장 관계자의 안전의식 개선을 위해 홍보 활동의 필요성을 제안하였다. 김정룡 등(2010)의 ‘F-scan을 이용한 이동식 비계 사용 시 자세 안정도 평가’에서는 숙련자와 비숙련자가 이동식 틀비계에서 작업 시 안전난간 유무, 1단과 2단인 경우 인간공학적 평가인 자세 안정도에 대한 평가를 실시한 결과 숙련도가 낮고, 이동식틀비계 높이가 높고, 안전난간이 없을수록 추락사고 위험이 증가하는 것으로 분석되었다.

민승남 등(2010)의 ‘이동식틀비계 사용작업시에 따른 척추 안정성 분석’에서는 틀비계 사용 작업 시 작업대의 높이, 안전난간 유무, 작업자의 경력에 따른 허리 안정성을 평가하고 안전성을 유지하기 위한 근육 동시수축과 요통과의 연관성 분석결과 작업대가 높을수록, 안전난간 미설치 시, 작업경력이 낮을 경우 척추 안정성을 유지하기 위해 동시수축이 일어나고, 결과적으로 허리근육 사용량이 증가하므로 근골격계 질환 발생 가능성이 있는 것으로 평가되었다. 장명훈(2012)의 ‘가설공사의 이동식 비계 전도방지 버팀대 개발’에서는 이동식 비계의 전도방지를 위한 아웃트리거의 조립 및 해체작업의 불편함을 개선한 비 분리형 아웃트리거를 제시하였다. 권준혁 등(2014)의 ‘말비계 안전기준 개정에 관한 연구’에서는 말비계의 사용실태와 안전기준 비교 분석을 통해 말비계 설치·사용을 위한 기준 개정 방안을 제시하였다. 김대영 등(2019)의 ‘이동식 사다리 안전작업기준 및 안전모델 제시에 관한 연구’에서는 이동식 사다리의 실태조사와 중대재해 분석 및 관계자 인터뷰를 통해 이동식 사다리 대체품 개선 모델을 제시하였고, 산업안전보건기준에 관한 규칙의 개정 방안을 제시하였다.

〈표 I-3〉 낮은 높이용 작업발판 재해예방 관련 연구

연구자 (연도)	제목	연구내용
송인용 등 (2007)	추락 2.5 재해특성 분석 및 안전장치 개발 연구	낮은 높이용 작업대의 문제점 분석을 통해 전동식 및 접이식 작업대 개발
최돈홍 등 (2010)	건설현장 작업발판 사용실태 조사 연구	이동식 비계 등 건설현장의 작업발판 실태조사를 통해 작업발판 설치·사용 지침 변경(안) 제시 및 현장 관계자의 안전의식 개선을 위한 홍보 활동 필요성 제안
김정룡 등 (2010)	F-scan을 이용한 이동식 비계 사용 시 자세 안정도 평가	숙련자와 비숙련자가 이동식 틀비계에서 작업 시 안전난간이 있는 경우와 없는 경우의 높이가 1단(1.7m), 2단(3.3m)인 경우에서 인간공학적 평가인 자세안정도에 대한 평가 결과 숙련도가 낮고, 이동식틀비계에 높이가 높고, 안전난간이 없을수록 추락사고 위험성 증가
민승남 등 (2010)	이동식틀비계 사용작업에 따른 척추 안정성 분석	틀비계 사용 작업 시 작업대의 높이, 안전난간 유무, 작업자에 경력에 따른 허리 안정성을 평가하고 안전성을 유지하기 위한 근육의 동시수축과 요통과의 연관성 분석결과 작업대가 높을수록, 안전난간 미설치 시, 작업경력이 낮을 경우 척추 안정성을 유지하기 위해 동시수축이 일어나고 결과적으로 허리근육 사용량이 증가하므로 근골격계 질환 발생 가능성을 확인함.
장명훈 (2012)	가설공사의 이동식 비계 전도방지 버팀대 개발	이동식 비계의 전도방지를 위한 아웃트리거의 조립 및 해체작업의 불편함을 개선한 비분리형 아웃트리거 개발
권준혁 등 (2014)	말비계 안전기준 개정에 관한 연구	말비계의 사용실태와 안전기준 비교 분석을 통해 말비계 설치·사용을 위한 기준 개정 방안 제시
김대영 등 (2019)	이동식 사다리 안전작업기준 및 안전 모델 제시에 관한 연구	이동식 사다리의 실태조사와 중대재해조사 분석 및 관계자 인터뷰를 통해 이동식 사다리 대체품 개선 모델을 제시하였고, 관련 안전보건기준에 관한 규칙 개정 방안 제시

(2) 이동식 비계의 구조성능 및 안전인증 연구

이동식 비계의 구조성능 및 안전인증과 관련된 선행연구의 내용은 다음과 같으며, <표 I -4>에 주요 내용을 간략하게 정리하였다. 박일철 등(2013)의 ‘조립식 가설기자재의 완성품에 대한 안전인증 타당성 연구’에서는 완성품 형태로 사용되는 이동식 비계의 단위부재와 완성품의 구조성능 차이 분석을 통해 합리적이고 타당한 안전인증 기준 마련 등 조립식 가설 기자재의 완성품에 대한 안전인증이 타당한 것으로 분석되었다. Marcos Andrew Rabelo Soeiro et al(2017)의 ‘Nonlinear analysis of steel scaffolds for shoring of concrete structures’에서는 이동식 비계의 기하학적 및 재료적 비선형성을 고려한 3차원 유한요소 모델을 이용한 거동 평가를 통해 해석모델의 경계조건이 이동식 비계의 파괴하중에 큰 영향을 미치는 것을 확인하였다. Wiryanto Dewobroto et al(2018)의 ‘Ultimate Load Capacity Analysis of Steel Scaffoldings Using Direct-Analysis Method’에서는 강재 비계 전체 구조물에 대한 시험과 비선형·비탄성 극한 강도 해석을 수행하여 최대극한하중을 제시하였으며, 특히 이동식 비계의 측면지지 구조물의 효과 및 다단 비계의 강도가 안전성에 큰 영향을 미치는 것으로 나타났다. 한상윤 등(2020)의 ‘조립된 이동식 비계 안전인증 기준 개발 연구’에서는 조립된 이동식 비계 현황조사와 설계기준 비교, 구조해석 및 실물시험을 통해 조립된 이동식 비계의 안전인증 기준(안)을 제시하였다.

〈표 I-4〉 이동식 비계의 구조성능 및 안전인증 연구

연구자 (연도)	제목	연구내용
박일철 등 (2013)	조립식 가설기자재의 완성품에 대한 안전인증 타당성 연구	완성품 형태로 사용되는 이동식 비계의 단위 부재와 완성품의 구조성능 차이 분석을 통해 합리적이고 타당한 안전인증 기준 마련 등 조립식 가설 기자재의 완성품에 대한 안전인증이 타당한 것으로 분석됨.
Marcos Andrew Rabelo Soeiro et al (2017)	Nonlinear analysis of steel scaffolds for shoring of concrete structures	이동식 비계의 기하학적 및 재료적 비선형성을 고려한 3차원 유한요소모델을 이용한 거동 평가를 통해 해석모델의 경계조건이 이동식 비계의 파괴하중에 큰 영향을 미치는 것을 확인
Wiryanto Dewobroto et al (2018)	Ultimate Load Capacity Analysis of Steel Scaffoldings Using Direct-Analysis Method	강재 비계 전체 구조물에 대한 시험과 비선형·비탄성 극한 강도 해석을 수행하여 최대 극한하중을 제시함. 특히 이동식 비계의 측면 지지 구조물의 효과 및 다단 비계의 강도가 안전성에 큰 영향을 미치는 것을 확인
한상윤 등 (2020)	조립된 이동식 비계 안전인증기준 개발 연구	조립된 이동식 비계 현황조사와 설계기준 비교, 구조해석 및 실물시험을 통해 조립된 이동식 비계의 안전인증 기준 및 성능평가 방법 제시

(3) 시사점

이동식 비계 등 낮은 높이용 작업발판 관련 재해예방 연구와 이동식 비계 관련 구조성능 및 안전인증 연구에 대한 분석결과 낮은 높이용 작업발판 연구는 말비계와 이동식 사다리의 사용상 문제점과 안전기준을 개선하는 연구에 집중되었고, 이동식 비계의 경우 작업자세 등에 따른 근골격계 질환의 위험성에 대해 연구가 진행되었다. 이동식 비계의 구조성능과 안전인증에 관한 연구 중 국내 연구는 조립된 이동식 비계의 안전인증 기준 마련에 관한 연구를 추진 하였고, 해외 연구는 이동식 비계의 기하학적 및 재료적 비선형성과 경계조건을 고려하여 거동을 평가하였으며, 측면지지에 대한 효과 등을 평가하였다. 이와 같이 선행 연구에서는 이동식 비계의 작업 안전성과 사용 시 불편사항 등에

관한 내용을 종합적으로 고려한 이동식 비계의 사용성과 안전성 개선에 관한 연구는 미흡한 것으로 나타나, 이동식 비계의 사용상 문제점과 위험요인 뿐만 아니라 기존 말비계와 이동식 사다리의 추락 및 전도 위험성을 개선한 안전하고 편리한 실용적인 이동식 비계를 개발할 필요가 있다.

2) 연구의 의의와 연구 방향

본 연구는 학술적, 실무적, 정책적 측면에 의의가 있다. 첫째, 학술적 의의는 기존의 낮은 높이용 작업발판 관련 재해예방 연구는 낮은 높이용 작업발판의 실태분석을 통한 문제점 도출을 통해 안전기준 개선 방안 위주로 연구가 진행되었다. 이는 낮은 높이용 작업발판의 근원적인 문제점 분석을 통해 실용적인 작업발판 개발에 관한 연구가 부족하다는 한계점이 있었다. 이에 본 연구는 국내 건설현장의 이동식 비계의 중대재해 분석과 현장 실태조사 및 현장관계자의 의견을 수렴하여 이동식 비계의 근원적인 문제점 도출과 개선 기술을 적용하여 편리하고 안전한 이동식 비계를 개발하여 건설현장에서 수용성이 높은 구조에 대해 구조안전성을 평가하였다. 둘째, 실무적 의의는 현재 유통되고 있는 이동식 비계의 경우 안전난간을 설치·해체할 때와 주틀의 외측 사다리로 승강 시 추락 위험성이 높고, 이동식 비계의 위치 이동 시 아웃트리거가 제 기능을 하지 않는 등 안전기준 준수에 어려움이 있다. 이에 상부의 안전난간을 하부 작업발판에서 설치·해체할 수 있고, 주틀 내부 사다리나, 가설계단을 이용하여 승강할 수 있도록 개선하였으며, 이동식 비계의 위치 이동 시 아웃트리거가 제 기능을 할 수 있는 기술을 개발한 것에 의의가 있다. 마지막으로 정책적 의의는 이동식 비계의 안전기술을 건설현장에 적용할 수 있도록 이동식 비계에 선행안전난간대 등의 신기술을 반영한 『이동식 비계 설치 및 사용안전 기술지침』 개정(안)을 제시하여 건설현장 안전관리의 기초자료로 활용될 수 있다고 하겠다.

Ⅱ. 이동식 비계 관련 기준 고찰



Ⅱ. 이동식 비계 관련 기준 고찰

1. 이동식 비계 일반사항

1) 이동식 비계의 개요

이동식 비계의 정의는 산업안전대사전(최상복, 2004), 건설현장 비계작업 안전 실무 안내서(고용노동부·안전보건공단, 2019) 및 이동식 비계 설치 및 사용안전 기술지침(KOSHA GUIDE C-28-2018)에서 규정하고 있다. 이동식 비계는 “타워형태로 조립한 틀조립 구조의 최상층에 작업발판과 표준 안전난간을 설치하고, 각주 밑 부분에 바퀴를 부착한 구조의 비계” 또는 “이동식 비계용 주틀의 하단에 발바퀴를 부착하여 이동할 수 있도록 조립한 비계”를 말한다(최상복, 2004; 고용노동부·안전보건공단, 2019; KOSHA GUIDE, 2018). 이러한 이동식 비계는 사용되는 높이에 따라 주틀을 조립하여 사용할 수 있고, 각주 하부에 바퀴를 설치하는 경우 적은 인원으로 쉽게 이동이 가능하며, 주로 철근 배근, 거푸집 설치 등 구조물 공사와 실내 천장, 벽 등의 마무리 작업에 사용된다. 이동식 비계와 같이 낮은 높이의 작업에서 작업발판 용도로 사용하는 비계 등은 말비계와 이동식 사다리가 있다. 이동식 사다리와 말비계는 경량이고, 이동과 운반의 용이성 등의 이유로 이동식 비계보다 많이 사용되고 있는 실정이다. 하지만 말비계와 이동식 사다리의 경우 뒤집힘(전도)과 떨어짐(추락)의 위험성이 높으므로 현행 이동식 비계의 사용상 문제점을 개선한 다양한 종류의 이동식 비계가 개발·적용될 필요가 있다.

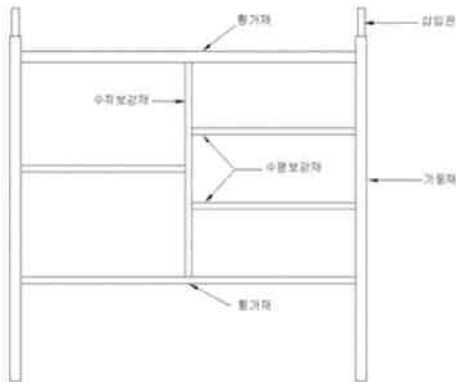
2) 이동식 비계의 구성 및 특징

이동식 비계는 가설구조물 중 하나로 주틀, 발바퀴, 난간틀, 아웃트리거(전도 방지장치) 등으로 구성되며, 현장에서 개별 부재를 조립하여 설치·사용한다.

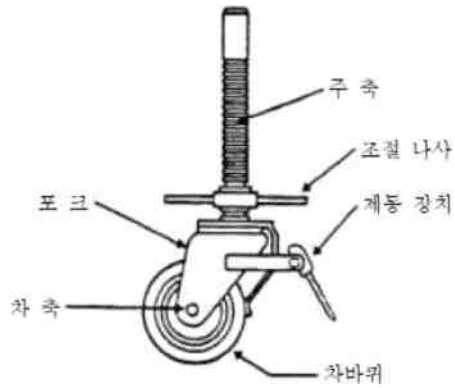
실제 건설현장에 설치된 이동식 비계는 [그림 II-1]과 같다. 이동식 비계 설치 및 사용안전 기술지침(KOSHA GUIDE C-28-2018)에 따르면 이동식 비계를 구성하는 주요부재 중 주틀은 이동식 비계 설치 시 수직으로 조립되는 부재로 비계의 상부 하중을 하부로 전달하는 역할을 한다.



[그림 II-1] 이동식 비계 설치(예) (고용노동부·안전보건공단, 2019)

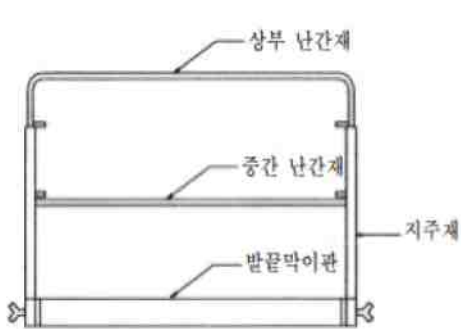


[그림 II-2] 주틀(참조그림)

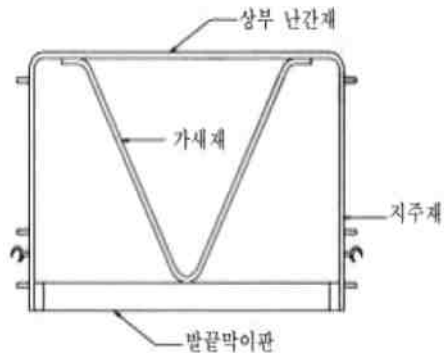


[그림 II-3] 발바퀴(참조그림)

주틀은 기동재(삽입판 포함), 횡가재, 보강재가 일체화된 구조로 [그림 II-2]와 같다. 발바퀴는 주틀의 기동재 최하단에 삽입되는 바퀴를 말하며, [그림 II-3]과 같이 주축, 포크, 차바퀴, 차축 및 제동장치로 구성된다.



(가) 중간난간재가 있는 경우

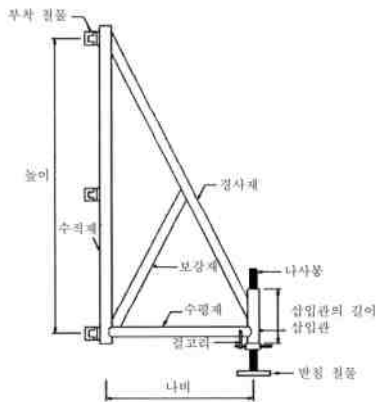


(나) 가새재가 있는 경우

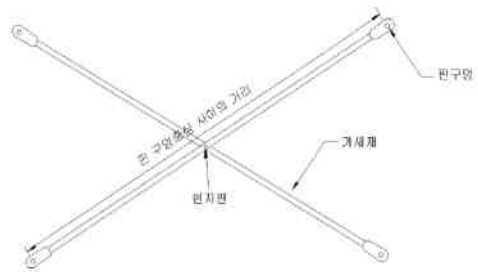
[그림 II-4] 난간틀(참조그림)

난간틀은 이동식 비계 상부의 작업발판에서 작업자가 추락하지 않도록 설치하는 안전난간을 말한다. 난간틀은 [그림 II-4]와 같이 받끝막이판, 지주재, 난간재, 가새재 및 설치용 철물 등으로 구성된다. 아웃트리거(전도방지장치)는 이동식 비계에서 작업 중이거나, 작업자가 승강 중에 비계가 전도되는 것을

방지하기 위하여 설치하는 지지대를 말하며, [그림 II-5]와 같이 수평재, 수직재, 경사재, 보강재, 삽입관, 받침철물 및 2개 이상의 부착 철물로 구성된다(고용노동부, 2021). 교차가개는 [그림 II-6]과 같이 2개의 개새재를 중앙부에서 힌지 핀으로 결합한 구조로 횡력에 저항 및 변형 방지로 이동식 비계의 내적 안정¹⁾을 확보할 수 있다.



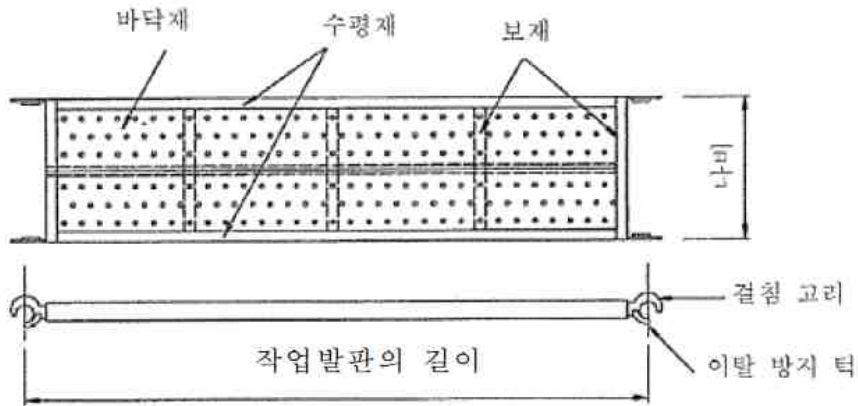
[그림 II-5] 아웃트리거(참조그림)



[그림 II-6] 교차가개(참조그림)

작업발판은 [그림 II-7]과 같이 바닥재, 수평재, 보재 및 걸침고리로 구성되고, 이동식 비계의 내부 승강설비(사다리, 가설계단)를 사용할 경우 [그림 II-8]과 같이 여닫이와 미닫이 방식의 개폐형 발판이 사용되고 있다. 이동식 비계의 주요 구성요소 중 주틀, 발바퀴, 난간틀, 교차가개, 작업발판, 아웃트리거 등은 안전인증고시 또는 한국산업표준에서 정하는 기준에 적합하여야 한다.

1) 내적 안정이란 외력이 작용했을 때 구조물의 형태가 변하지 않는 것을 의미하며, 외적 안정은 반대로 외력 작용 시 위치가 그대로 유지하는 것을 의미함.



[그림 II-7] 작업발판(참조그림)



(가) 여닫이 방식



(나) 미닫이 방식

[그림 II-8] 개폐형 작업발판(예시)

낮은 높이에서 사용되는 비계·작업발판은 크게 이동식 비계, 말비계, 이동식 사다리가 있다. 이동식 사다리는 다른 종류의 작업발판에 비해 폭이 좁고, 무게 중심이 높아 전도 위험성이 높으며, 경작업 또는 고소작업대나 비계 등의 설치가 어려운 협소한 장소에 한하여 사용하도록 권고하고 있지만 사다리를 대체할 수 있는 편리하고 안전한 비계 개발·보급 부족으로 건설현장에서는 여전히 이동식 사다리를 작업발판으로 많이 사용하고 있는 실정이다.

이동식 비계는 말비계와 이동식 사다리에 비해 작업발판의 폭이 넓고, 작업 발판 단부에 안전난간 설치가 용이하며, 밑면 최소폭에 대한 높이의 비가 말비계 등에 비해 상대적으로 낮아 전도(뒤집힘) 위험성이 낮다는 특징이 있다. 이동식 비계, 말비계 및 이동식 사다리의 특징을 비교한 자료는 <표 II-1>과 같다.

산업안전보건기준에 관한 규칙 제24조(사다리식 통로 등의 구조)에서는 사다리식 통로 설치 시 준수사항을 규정하고 있다. 2019년 3월 고용노동부는 “이동식 사다리 안전작업지침 개선방안”에서 보통(일자형)사다리, 신축형 사다리는 이동통로로만 사용하고, 발붙임사다리(A형 사다리)에서는 경작업에 한해 사용하도록 하고, 『산업안전보건업무담당 근로감독관 집무규정』에서 3개월의 계도기간 운영 후 2019년 7월 1일부터 이동식 사다리를 작업발판 용도로 사용을 금지하였다. 그러나 이동식 사다리를 대체할 수 있는 안전하고 편리한 작업발판이 개발·보급되지 않아 건설현장 등 사업장의 많은 민원 요청과 국민청원이 제기되어 “이동식 사다리 안전작업기준 및 안전모델 제시에 관한 연구”가 추진되었다. 이 연구에서는 건설현장 실태조사, 해외 안전기준, 이해관계자 및 전문가의 의견수렴을 통해 이동식 사다리의 문제점을 도출하여 이동식 사다리 및 안전대 부착설비 대체품 개선 모델(안)과 제도 개선(안)을 제시하였다. 이동식 사다리 대체품 개선모델은 해외 이동식 사다리 사용 사례로 이 역시 사다리이므로 전도 및 추락 위험이 상존하는 것으로 판단된다. 이는 사다리를 완전히 대체할 수 있는 제품에 대한 연구·개발의 필요성을 역설하는 것이다. 최근 국내 제조사 중 일부업체에서는 해외 선진국의 안전인증 기준에 따라 경량의 편리한 이동식 비계를 개발하고 있으며, 일부 제품은 임의안전인증(S마크)을 취득한 것으로 알려지고 있다. 현행 안전인증기준은 규격을 기반으로 한 성능기준으로 규정되어 있어, 다양한 이동식 비계의 연구·개발에 한계가 있다. 건설현장의 다양한 작업공정에 맞는 비계 개발을 위해 안전인증 기준은 최소 기준의 규격을 기반으로 한 성능 중심으로 개선할 필요가 있다.

〈표 II-1〉 이동식 비계, 말비계 및 이동식 사다리의 특징

구분	이동식 비계	말비계	이동식 사다리 ²⁾
구성	주틀, 교차가새, 작업발판, 안전난간틀, 발바퀴, 아웃트리거, 발끝막이판, 승강설비	버팀대, 디딤대, 발판, 미끄럼 방지기구	디딤대, 버팀대, 벌어짐 방지장치, 발판(일부 적용), 미끄럼 방지기구
주용도	구조물 작업, 마감작업 등 다용도	도배, 페인트 등 간단한 작업	경작업 또는 고소작업 대나 비계 등의 설치가 어려운 협소한 장소의 작업
조립방식	현장 조립	기성품(조립 완성체)	기성품(조립 완성체)
최대 높이	밀변 최소폭의 4배이하	1.2m 이하(권장)	2m 이하(권장)
승강설비	- 주틀의 수평재(답단) - 가설계단(선택)	디딤대(답단)	디딤대(답단)
아웃트리거	설치	필요시 선택 설치	필요시 선택 설치
작업발판	최소폭 40cm 이상	약 40cm	- 주로 10cm 미만 - 일부 40cm
안전난간	안전기준에 적합한 난간틀로 설치	일부 제품만 안전난간 설치 가능	- 주로 설치 불가 - 일부 제품은 안전난간 설치 가능하나, 안전기준에 미흡
위험성	- 안전난간 설치 전까지 작업발판 단부로 추락위험 - 주틀 외측 사다리로 승강 중 추락위험 - 아웃트리거 미설치 시 전도 위험	- 발판 단부로 추락위험 - 말비계 자체의 전도 위험	- 이동식 사다리 자체의 전도 위험 - 디딤대에서 작업 시 추락위험
장점	안전기준에 적합한 안전시설 설치 가능	- 경량으로 운반 용이(1인 운반 가능) - 좁은 공간 작업가능	- 좁은 공간 작업 가능 1인 운반 가능
문제점	- 설치·해체 시 2인 작업 - 승용차로 운반 불가 - 조립·해체 불편 - 최소폭이 1.2m로 좁은 공간 작업 불가	- 안전난간 설치가 곤란하여 추락 위험 - 전도 위험성이 높음	- 전도 위험성이 높음 - 디딤대에서 작업 시 추락위험

2) 발붙임 사다리에 한함.

3) 이동식 비계의 재료 및 규격

이동식 비계 각 부재의 재질과 규격은 방호장치 안전인증 기준(고용노동부 고시 제2021-22호)과 KS F 8011(이동식 강관비계용 부재)에 적합하여야 한다. 방호장치 안전인증 기준은 산업안전보건법 제83조 제1항 및 제2항과 같은 법 시행령 제74조 제1항 제2호에 따라 고용노동부 고시로 규정하고 있다. 이동식 비계의 재료는 <표 II-2>와 같다(고용노동부, 2021; KS F 8011).

<표 II-2> 이동식 비계용 부재의 재료(고용노동부, 2021; KS F 8011)

부재명	구성부분		재질	비고
주틀	• 기둥재, 횡가재 및 보강재		• KS D 3566(일반구조용 탄소강관)의 STK400	
발바퀴	• 주축 및 차축		• KS D 3503(일반구조용 압연강재)의 SS400	
	• 포크		• KS D 3501(열간압연 연강판 및 강대)의 SPHC	
	• 타이어		• KS B 6415(산업용 차륜)의 1종(6.2에 정한 것에 한한다)	
난간틀	• 발끝막이판, 지주재, 난간재, 가새재		• KS D 3566(일반구조용 탄소강관)에 정하는 STK400	
	• 설치용 철물	• 볼트·너트·핀 등	• KS D 3503(일반구조용 압연강재)에 정하는 SS330	
		• 기타의 부분	• KS D 3501(열간압연 연강판 및 강대)에 정하는 SPHC	
교차가새 ³⁾	• 가새핀		• KS D 3566(일반구조용 탄소강관)의 STK400	
	• 힌지핀		• KS D 3554(연강 선재)의 SWRM20	
아웃트리거 ⁴⁾	• 수직재, 수평재, 경사재, 보강재, 삽입관		• KS D 3566(일반구조용 탄소강관)의 STK400	
	• 부착철물		• KS D 3501(열간압연 연강판 및 강대)의 SPHC • KS D 3503(일반구조용 압연강재)의 SS300	

3) 틀형 비계용 교차가새의 재료기준으로 이동식 비계의 교차가새로 사용할 수 있음.

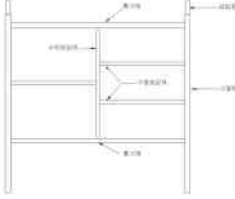
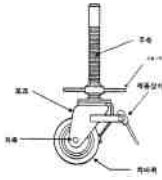
4) KS F 8011(이동식 강관비계용 부재)의 아웃트리거의 재료기준임.

〈표 II-2〉 이동식 비계용 부재의 재료(고용노동부, 2021; KS F 8011)(계속)

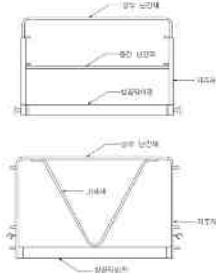
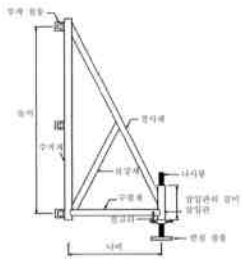
부재명	구성부분		재질	비고
작업발판	• 바닥재		• KS D 3501(열간압연 연강판 및 강대)의 SPHC 또는 KS D 3601(엑스팬디드 메탈)의 XS42 • KS D 6759(알루미늄 및 알루미늄합금 압출형재)의 A 6063S	
	• 수평재 및 보재		• KS D 3501(열간압연 연강판 및 강대)의 SPHC • KS D 6759(알루미늄 및 알루미늄합금 압출형재)의 A 6063S	
	• 걸침고리	• 단판형	• KS D 3503(일반구조용 압연강재)의 SS400 • KS D 6701(알루미늄 및 알루미늄 합금의 판 및 조)의 A 5052P 또는 KS D 6759(알루미늄 및 알루미늄합금 압출형재)의 A 6063S	
		• 상자형	• KS D 3501(열간압연 연강판 및 강대)의 SPHC • KS D 6701(알루미늄 및 알루미늄 합금의 판 및 조)의 A 5052P 또는 KS D 6759(알루미늄 및 알루미늄합금 압출형재)의 A 6063S	

이동식 비계의 각 부재의 구조와 규격은 <표 II-3>과 같다(고용노동부, 2021).

<표 II-3> 이동식 비계용 부재의 구조와 규격(고용노동부, 2021)

부재명	개요도	구조와 규격
주틀		• 기둥재, 횡가재 및 보강재가 일체화된 구조 - 양 기둥재의 중심간의 길이는 1,200mm 이상, 1,600mm 이하일 것 - 기둥재의 길이는 2,000mm 이하일 것 - 기둥재 및 횡가재의 바깥지름은 42.4mm 이상일 것 * KS 규격 기준 : 바깥지름 $42.7 \pm 0.25\text{mm}$, 두께 $2.5 \pm 0.3\text{mm}$ - 보강재의 바깥지름은 26.9mm 이상일 것 - 기둥재의 윗단에 삽입관이 있는 것은 기둥재가 삽입되는 부분의 길이가 95mm 이상이어야 하며 이탈되지 않는 구조일 것 - 기둥재의 윗단에 삽입관이 없는 것은 적합한 연결조인트가 삽입되어 이탈되지 않는 구조일 것 - 디딤대로 사용되는 수평 보강재 및 횡가재의 부분은 길이가 300mm 이상이고, 수평 보강재 간의 중심간격이 400mm 이하일 것
발바퀴		• 발바퀴는 주축, 포크, 차바퀴, 차축 및 제동장치로 구성 - 주축 중 주틀의 기둥재에 삽입되는 부분의 길이는 200mm(이탈방지 기능을 가지고 있는 주축에 있어서는 95mm) 이상일 것 - 차바퀴 타이어의 바깥지름은 125mm 이상일 것 - 차축은 주축을 축으로 하여 회전할 수 있을 것

〈표 II-3〉 이동식 비계용 부재의 구조와 규격(고용노동부, 2021)〈계속〉

부재명	개요도	구조와 규격
난간틀		- 난간틀은 발끝막이판, 지주재, 난간재, 가새재 및 설치용 철물 등으로 구성 - 지주재, 난간재 및 가새재의 바깥지름은 21.4mm 이상 - 난간틀의 높이는 작업대 윗면에서 900mm 이상 - 난간틀의 중간부에는 중간난간재 또는 가새재를 설치해야 하며, 중간난간재는 작업대 윗면과 상부난간재 상단의 중간에 위치 - 설치용 철물은 사용 중 쉽게 탈락하지 않는 견고한 구조 - 난간틀의 지주재는 주틀의 기둥재에 삽입되는 구조이거나 연결핀에 의해 결합되는 구조
교차가새		- 교차가새는 가새재를 중앙부에서 힌지 핀으로 결합한 구조 - 가새재의 바깥지름은 21.4mm 이상 - 가새재는 양 끝 부분에 지름 15.0mm 이하의 핀 구멍이 있고 핀 구멍 중심 사이의 거리는 2,300mm 이하 - 힌지핀의 지름은 6.8mm 이상
아웃트리거		- 아웃트리거는 수평재, 수직재, 경사재, 보강재, 삽입관, 받침철물 및 2개 이상의 부착 철물로 구성 - 아웃트리거의 너비(폭)는 600mm 이상 - 아웃트리거의 높이는 너비의 2배 이상 - 수직재, 수평재, 경사재, 보강재 및 삽입관의 외경 $42.7 \pm 0.25\text{mm}$, 두께 $2.3 \pm 0.3\text{mm}$ - 부착철물은 주틀의 기둥재에 체결할 수 있는 구조로 볼트체결의 경우 볼트의 지름은 나사산을 포함하여 9mm 이상 - 받침철물은 KS F 8014의 조절형 받침 철물에 적합한 구조 - 삽입관의 길이는 200mm 이상

4) 이동식 비계의 성능시험 기준

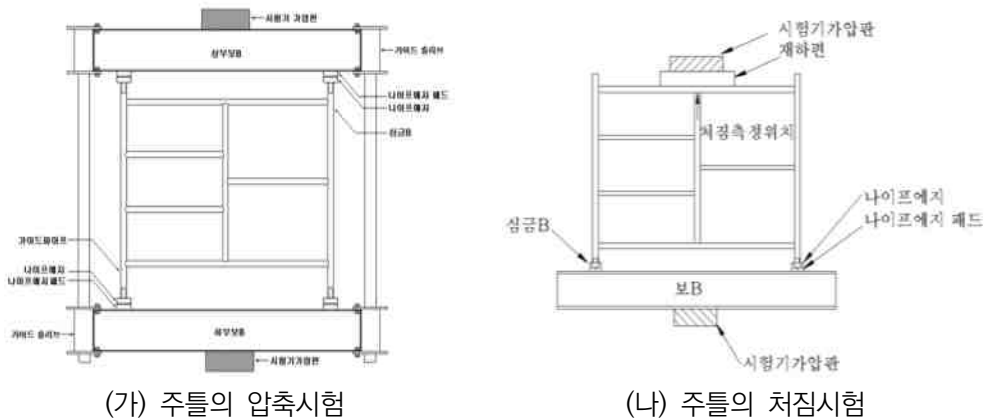
이동식 비계의 성능기준과 시험방법은 『방호장치 안전인증 고시(고용노동부 고시 제2021-22호)』에서 규정하고 있으며, 해당 고시에서 정하지 않은 이웃 트리거는 한국산업표준의 『이동식 강관비계용 부재(KS F 8011)』에 따르도록 하고 있고, 두께기준은 따르지 않도록 하고 있다. 이동식 비계용 개별 부재의 시험성능기준과 시험방법은 다음과 같다.

(1) 주틀의 성능기준 및 시험방법

주틀의 성능기준은 압축강도와 수직처짐량으로 구분되며, <표 II-4>와 같다. 먼저, 주틀의 압축시험은 [그림 II-9]의 (가)와 같이 상부보 B 및 하부보 B, 가이드 슬리브와 가이드 파이프, 심금 B 및 나이프에지와 나이프에지 패드를 사용하여 시험기 상·하의 가압판 중심에 주틀의 중심을 일치시킨 상태에서 주틀의 중심선상에 하중을 가하여 하중의 최댓값을 측정하며, 재하속도는 분당 8mm 이하로 한다(고용노동부, 2021).

<표 II-4> 주틀의 시험성능기준(고용노동부, 2021)

항목	시험성능기준
압축강도	44,000N 이상
수직처짐량	10.0mm 이하(7,500N의 하중)



[그림 II-9] 주틀의 성능시험(고용노동부, 2021)

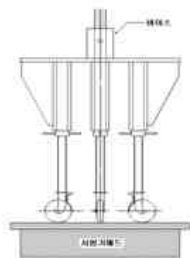
주틀의 처짐시험은 [그림 II-9]의 (나)와 같이 심금 B, 나이프에지와 나이프 에지 패드, 보 B, 재하판, 치짐측정기를 사용하여 시험기의 하부 가압판 중심에 보의 중심을 일치시킨 상태에서 주틀을 시험기에 부착하고 주틀의 중심을 시험기 가압판으로 가력하여 하중이 7,500N일 때 상부횡가재 중심의 수직처짐량을 측정하며, 이때 재해속도는 분당 8mm 이하로 한다(고용노동부, 2021).

(2) 발바퀴의 성능기준 및 시험방법

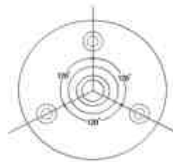
발바퀴의 성능기준은 압축강도와 제동으로 구분되며, <표 II-5>와 같다. 먼저, 발바퀴의 압축시험은 [그림 II-10]의 (가)와 같이 발바퀴 3개를 한 조로 하여 시험기에 부착한 후 6,000N의 압축하중을 가한 상태에서 각 부분의 손상 및 변형 유무를 확인하고 계속 압축하중을 가하여 하중의 최댓값을 측정하며, 재해 속도는 분당 8mm 이하로 한다(고용노동부, 2021).

〈표 II-5〉 발바퀴의 시험성능기준(고용노동부, 2021)

항목	시험성능기준
압축강도	6,000N의 하중에 발바퀴의 각 부분에 영구변형이 없을 것
	16,000N 이상
제동	회전하지 않을 것 (1,500N의 압축하중 시 수직판을 1,000N으로 뺄 때)



(가) 발바퀴의 압축시험



(나) 발바퀴의 제동시험

〔그림 II-10〕 발바퀴의 성능시험(고용노동부, 2021)

발바퀴의 제동시험은 [그림 II-10]의 (나)와 같이 보 C, 고정차축받침 및 스프링부착 차축받침과 수직판을 사용하여 제동 장치를 작동한 상태에서 발바퀴 2개를 한조로 하여 시험기에 부착시키고 스프링 부착 차축 받침쪽의 스프링에 1,500N으로 압축하중을 가한 상태에서 수직판을 1,000N의 힘으로 빼면서 바퀴의 회전유무를 확인한다(고용노동부, 2021).

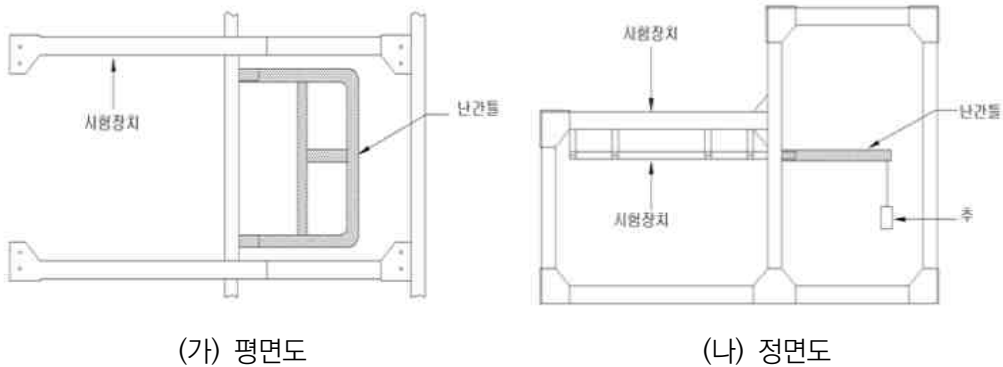
(3) 난간틀의 성능기준 및 시험방법

난간틀의 성능기준은 변위량과 최대하중으로 구분되며, 〈표 II-6〉과 같다. 난간틀의 성능시험은 [그림 II-11]과 같이 시험장치에 설치하고 난간틀의 상부난간재 중앙부에 하중이 30kgf인 추를 매달아 변위측정기로 상부 난간재

중앙부의 수직방향 변위량을 구하고 100kgf인 추를 매달아 난간들의 파괴 유무를 확인한다(고용노동부, 2021).

〈표 II-6〉 난간들의 시험성능기준(고용노동부, 2021)

항목	시험성능기준
변위량	100mm 이하(30kgf의 추)
최대하중	파괴되지 않을 것(100kgf의 추)



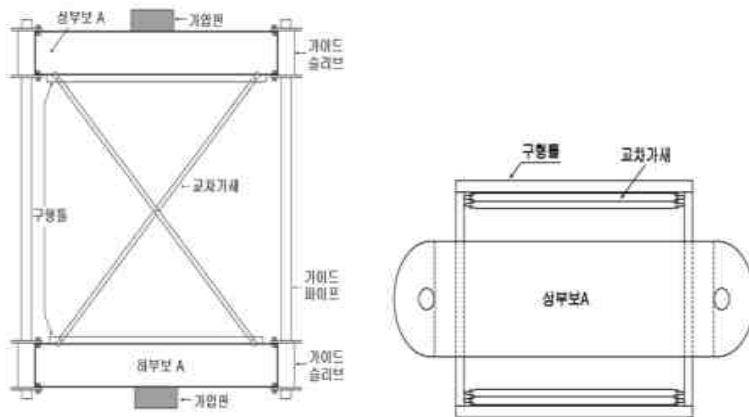
[그림 II-11] 난간들의 성능시험(고용노동부, 2021)

(4) 교차가새의 성능기준 및 시험방법

교차가새의 성능기준은 압축강도이며, <표 II-7>과 같다. 교차가새의 압축 시험은 [그림 II-12]와 같이 상부보 A, 하부보 A, 가이드슬리브 및 가이드 파이프와 구형틀을 사용하여 시험기의 상하 가압판 중심에 상부보 A 및 하부보 A와 구형틀의 중심을 일치시킨 상태에서 교차가새 2개를 한조로 하여 시험기에 부착하고 압축하중을 가하여 하중의 최댓값을 측정하며, 이때 교차가새 핀의 이탈방지 기능을 작동시킨 상태에서 재하 속도는 분당 8mm 이하로 한다(고용노동부, 2021).

<표 II-7> 교차가새의 시험성능기준(고용노동부, 2021)

항목	시험성능기준
압축강도	7,500N 이상



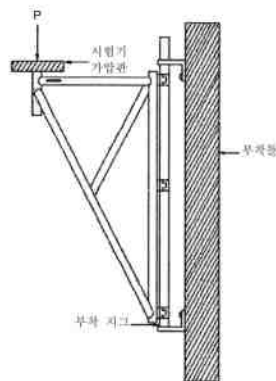
[그림 II-12] 교차가새의 압축 성능시험(고용노동부, 2021)

(5) 아웃트리거의 성능기준 및 시험방법

아웃트리거의 성능기준은 최대 하중과 수직처짐량으로 구분되며, <표 II-8>과 같다. 먼저, 아웃트리거의 최대하중 시험은 [그림 II-13]과 같이 부착 틀에 아웃트리거를 부착하고, 삽입관의 중앙을 가력하여 하중(P)이 4,900N일 때 수직 처짐량을 측정한 후 계속 가력하여 하중의 최대값을 측정한다. 이때 부착 철물의 볼트 조임은 $34.3\text{kN}\cdot\text{mm}$ 로 하며, 평균 재해 속도는 분당 $(8\pm0.1)\text{mm}$ 이어야 한다(KS F 8011:2011).

<표 II-8> 아웃트리거의 시험성능기준(KS F 8011:2011)

항목	시험성능기준
최대하중	16,000N 이상
수직처짐량	10.0mm 이하(4,900N의 하중)



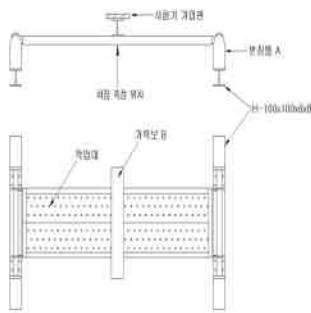
[그림 II-13] 아웃트리거의 성능시험(KS F 8011:2011)

(6) 작업발판의 성능기준 및 시험방법

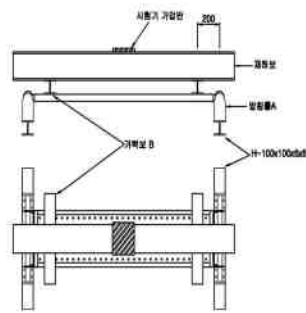
작업발판의 시험성능기준은 작업대의 휨강도와 수직처짐량, 걸침고리의 본체 및 부착부 전단강도, 이탈방지 전단강도, 바닥재의 수직처짐량으로 구분되며, <표 II-9>와 같다. 작업대의 처짐 및 휨시험은 [그림 II-14]의 (가)와 같이 작업대를 받침틀 A에 부착한 뒤 중앙에 가력보 B를 설치하여 수직 하중을 가한다. 이 때 하중이 바닥재의 너비(mm)×4N일 때의 수직 처짐량을 구하고 하중을 계속 가하여 하중의 최댓값을 측정한다. 걸침고리의 본체 및 부착부의 전단시험은 [그림 II-14]의 (나)와 같이 작업대를 받침틀 A에 부착하고 양끝 걸침고리 중앙부로부터 200mm 지점에 각각 가력보 B를 위치시키고 가력보 B의 중앙을 가로지르는 재하보의 중앙부에 하중을 가하여 하중의 최댓값을 측정한다. 걸침고리의 이탈방지 전단시험은 [그림 II-14] (다)와 같이 작업대의 수평재 및 보재가 상부를 향하도록 받침틀 A에 작업대를 사용방향의 반대로 설치한 뒤 양끝 걸침고리 중앙부로부터 200mm 지점에 각각 가력보 B를 위치시키고 그 중앙부를 가로지르는 재하보의 중앙부에 하중을 가하여 하중의 최댓값을 측정한다. 위의 3가지 시험의 재하속도는 모두 분당 8mm 이하로 한다(고용노동부, 2021).

〈표 II-9〉 작업발판의 시험성능기준(고용노동부, 2021)

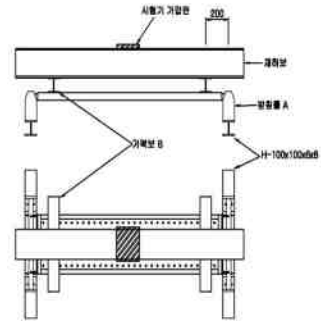
부재	항목	시험성능기준
작업대	휨강도	너비(mm)×11N이상
	수직처짐량	L/100 mm 이하(최대 20mm 이하) L : 작업대의 길이
걸침고리	본체 및 부착부 전단강도	너비(mm)×39N 이상
	이탈방지 전단강도	3,240N 이상
바닥재	수직처짐량	10.0mm 이하



(가) 작업대의 처짐 및 휨시험



(나) 걸침고리의 본체 및 부착부의 전단시험



(다) 걸침고리 이탈방지 전단시험

[그림 II-14] 작업발판의 성능시험(고용노동부, 2021)

2. 이동식 비계의 국내·외 안전기준

1) 국내 안전기준

(1) 산업안전보건기준에 관한 규칙

산업안전보건기준에 관한 규칙의 제13조(안전난간의 구조 및 설치요건), 제54조(비계의 재료), 제56조(작업발판의 구조), 제57조(비계 등의 조립·해체 및 변경), 제58조(비계의 점검 및 보수)에서 비계의 공통사항에 대해 규정하고 있으며, 이동식 비계의 상세 기준은 제68조(이동식 비계)에서 <표 II-10>과 같이 규정하고 있다.

〈표 II-10〉 이동식 비계의 안전기준

구분	안전기준	비고
제68조(이동식비계)	• 이동식 비계의 바퀴에는 뜻밖의 갑작스러운 이동 또는 전도를 방지하기 위하여 브레이크·썰기 등으로 바퀴를 고정시킨 다음 비계의 일부를 견고한 시설물에 고정하거나 아웃트리거(outrigger, 전도방지용 지지대)를 설치하는 등 필요한 조치를 할 것 • 승강용 사다리는 견고하게 설치할 것 • 비계의 최상부에서 작업을 하는 경우에는 안전난간을 설치할 것 • 작업발판은 항상 수평을 유지하고 작업발판 위에서 안전난간을 닫고 작업을 하거나 받침대 또는 사다리를 사용하여 작업하지 않도록 할 것 • 작업발판의 최대적재하중은 250kgf를 초과하지 않도록 할 것	산업안전보건 기준에 관한 규칙

이동식 비계의 안전기준에는 안전난간 설치 시점 등 안전난간의 설치방법에 대한 기준이 없어, 비계 조립 시 작업발판을 설치한 후 해당 작업발판으로 이동하여 안전난간을 설치하므로 항상 추락위험이 있다. 이에 따라 작업발판으로 이동 전에 안전난간을 미리 설치할 수 있는 신기술을 개발하여 안전기준을 개정할 필요가 있다.

(2) 안전보건기술지침

이동식 비계와 관련된 안전보건기술지침은 『이동식 비계 설치 및 사용안전 기술지침(KOSHA GUIDE C-28-2018)』에서 규정하고 있으며, 부재별 재료, 구조, 높이제한, 최대적재하중, 사용상의 주의사항으로 구성되어 있다. 부재별 재료와 구조는 방호장치 안전인증 고시와 한국산업표준(KS F 8011)에서 정하는 기준을 따르도록 하고 있다. 이동식 비계의 높이제한에 관한 산정식은 다음과 같으며, 발바퀴의 주축간격(L)의 기준은 <표 II-11>과 같다.

$$\cdot H \leq 7.7L - 5.0$$

여기서, H : 발바퀴 하단부터 작업발판까지 높이(m),

L : 발바퀴의 주축(단변) 간격(m)

<표 II-11> 발바퀴의 주축간격(L)

아웃트리거 조건	발바퀴의 주축간격(L)	주축간격 산정 참조그림
(h_1/b_1) 이 3 이상이고, 회전하지 않는 경우	$L = A + b_1 + b_2$	
위의 조건 이외	$L = A + (b_1 + b_2)/2$	

아웃트리거의 설치조건에 따라 발바퀴의 주축간격(L) 산정식이 다르므로 이동식 비계의 높이에 따라 적합한 아웃트리거를 선택할 수 있도록 안전인증 기준 또는 한국산업표준의 개정이 필요하다. 예를 들면, 주틀높이 3m 이하용과 주틀높이 3m 초과용으로 구분하여 성능기준을 마련할 필요가 있다.

이동식 비계 작업발판의 최대적재하중은 바닥면적 넓이에 따라 다음 값 이하로 사용하여야 한다.

- 바닥면적 $\geq 2\text{m}^2$ 일 때, $W=2.5\text{kN}$ 이하
- 바닥면적 $< 2\text{m}^2$ 일 때, $W=(0.5+1.0 \times \text{바닥면적}(\text{m}^2)+0.5)\text{kN}$ 이하

여기서, W : 적재하중

이동식 비계의 사용상 주의사항 중 중요사항은 다음과 같다.

- 작업발판은 항상 수평 유지, 작업발판 위에서 안전난간을 딛고 작업하거나, 받침대 또는 사다리를 사용하여 작업하지 않아야 함.
- 작업발판에는 3인 이상 탑승하여 작업하지 않아야 함.
- 이동식 비계의 갑작스러운 이동 또는 전도방지를 위해 발바퀴에는 브레이크·썰기 등으로 바퀴를 고정한 후 이동식 비계를 견고한 구조물에 고정 또는 아웃트리거를 설치하여야 함.
- 최대적재하중 등 안전표지는 잘 보이는 곳에 부착하여야 함.
- 작업발판, 주틀, 발바퀴, 안전난간 등 부재 이음부, 교차부는 사용 중 쉽게 탈락되지 않도록 결합하여야 함.
- 주틀 외부에 승강로가 설치된 경우 비계 전도방지를 위해 같은 면으로 동시에 2명 이상 승강하지 않아야 함.
- 근로자가 탑승한 상태에서 이동식 비계를 이동시키지 않아야 함.
- 주틀에는 발판간격이 동일한 사다리(폭 30cm 이상, 발판간격 40cm 이하)를 설치하거나, 계단(경사 50도 이하, 폭 35cm 이상)을 설치하여야 함.
- 이동식 비계 조립 시 『재사용 가설기자재 성능기준에 관한 지침』에서 제시하고 있는 점검 기준에 의해 점검하여야 함.

또한, 『건설현장 비계작업안전 실무 안내서(고용노동부·안전보건공단, 2019)』에서는 이동식 비계 설치 순서(참고용)를 [그림 II-15]과 같이 제시하고 있지만,

주틀의 사다리로 승강할 때와 작업발판 설치 이후에 안전난간 설치 시 항상 추락위험이 있어 이에 대한 개선이 필요하다.



(1) 설치위치 확인 및 정리정돈



(2) 1단 주틀 세우기



(3) 1단 교차가새 설치



(4) 1단 작업발판 설치



(5) 발바퀴 설치후 잠금상태 유지



(6) 아웃트리거 설치



(7) 연결조인트 설치



(8) 2단 주틀 설치



(9) 2단 교차가새 설치



(10) 2단 작업발판 설치



(11) 안전난간대 설치



(12) 발끝막이판 설치

[그림 II-15] 이동식 비계 설치 순서도(고용노동부·안전보건공단, 2019)

(3) 표준시방서

이동식 비계와 관련된 표준시방서는 국가건설기준센터의 『비계(KCS 21 60 10)』에서 규정하고 있다. 자재(발바퀴 및 아웃트리거 포함)에 대한 기준은 KS F 8011 또는 방호장치 안전인증기준에 적합하여야 하며, 시공에 관한 주요 안전기준은 다음과 같다.

- 이동식 비계의 조립 전에 구조, 강도, 기능 및 재료 등에 결함이 없는지 면밀히 검토하며, 조립도에 따라 설치하여야 함.
- 비계의 높이는 밑면 최소폭의 4배 이하이어야 함.
- 주틀의 기동재에 전도방지용 아웃트리거(outrigger)를 설치하거나 주틀의 일부를 구조물에 고정하여 흔들림과 전도를 방지하여야 함.
- 작업이 이루어지는 상단에는 안전 난간과 발끝막이판을 설치하며, 부재의 이음부, 교차부는 사용 중 쉽게 탈락하지 않도록 결합하여야 함.
- 작업상 부득이하거나 승강을 위하여 안전 난간을 분리할 때에는 작업 후 즉시 재설치하여야 함.
- 발바퀴에는 제동장치를 반드시 갖추어야 하고 이동할 때를 제외하고는 항상 작동시켜 두어야 함.
- 경사면에서 사용할 경우에는 각종 잣을 이용하여 주틀을 수직으로 세워 작업바닥의 수평이 유지되도록 하여야 함.
- 작업바닥 위에서 별도의 받침대나 사다리를 사용하지 않아야 함.
- 낙하물의 위험이 있는 경우에는 유효한 천장을 설치하여야 함.

표준시방서 기준은 산업안전보건기준에 관한 규칙과 방호장치 안전인증 고시 및 KOSHA GUIDE의 기준과 유사한 것으로 나타났으며, 이동식 비계의 설치·해체 중 안전사항과 이동 시 안전기준에 대한 명확한 기준은 없는 것으로 확인되었다.

2) 국외 안전기준

(1) 유럽기준

이동식 비계의 유럽기준은 DIN EN 1004(Mobile access and working towers made of prefabricated elements)에서 규정하고 있으며, 『조립틀

형 이동식 승강 및 작업용 타워』에 대한 설계와 성능기준에 관한 주요 내용에 대한 요약 자료는 [표 II-12]와 같다.

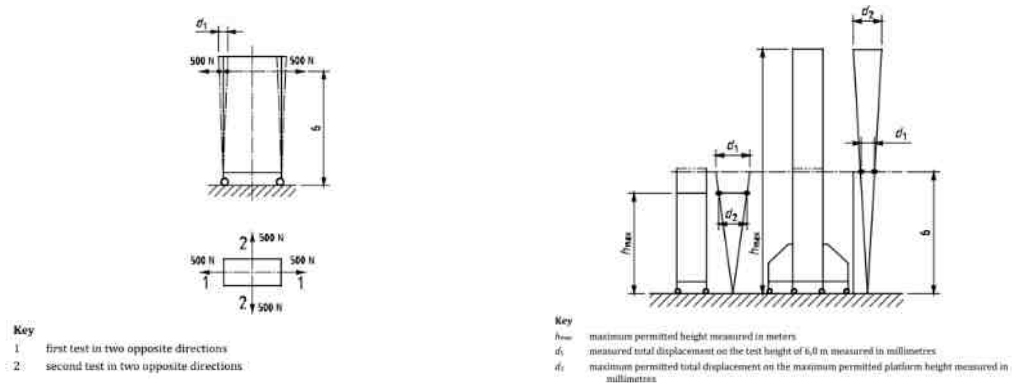
〈표 II-12〉 DIN EN 1004의 이동식 비계의 설계 및 성능기준

구분		주요내용
일반사항		• 타워형 작업대는 〈표 II-13〉의 5개 개별 하중그룹 중의 하중들을 최대한 불리하게 조합한 하중조합을 안전하게 지지할 수 있어야 함. • 모든 하중은 정적인 하중임. • 바퀴의 편심을 고려 • 조절받침은 최대길이를 고려 • 발판은 자중과 〈표 II-13〉의 가장 불리한 하중을 고려하여야 함.
수직 하중	자중	제조사 제공 공칭 자중(모든 부품 포함)
	최상부 작업발판의 등분포 하중	• class 2 : 1.5kN/m^2 • class 3 : 2.0kN/m^2
	1% 경사하중	• 자중과 등분포 하중 고려
	최소수직 사용하중	• 4개의 수직재에 균등하게 작용 • $P=5.0\text{kN}$ • 〈표 II-13〉의 등분포하중이 5.0kN 이상일 경우 해당 하중이 P가 됨.
수평 하중	수평 작업하중	• 최상단 발판에 작용 • $L \leq 4.0\text{ m}$: $H=0.3\text{ kN}$ • $L > 4.0\text{ m}$: $H= 2 \times 0.3\text{ kN}$
	풍하중	• 실내용은 풍하중 영향 생략
발판 작업하중		• 발판과 지지구조에는 발판의 불리한 위치에 아래의 집중하중을 각각 적용 • $0.50\text{m} \times 0.50\text{m}$: 1.5 kN, $0.20\text{m} \times 0.20\text{m}$: 1.0 kN
발판 탄성처짐		• 〈표 II-13〉 1.2 집중하중 작용 시 발판의 처짐은 발판 길이의 1% 이하 • 최대 25mm 이하
중간난간대 처짐		• 〈표 II-13〉 2.2. 집중하중 작용시 중간난간대의 처짐은 35mm 이하
발끝막이판 처짐		• 〈표 II-13〉 3. 집중하중 작용 시 발끝막이판 처짐은 35mm 이하
발바퀴	브레이크	• 바퀴 당 구르는 방향으로 0.3 kN 의 수평력에 회전 방지(최소 5회 시험)
	시험하중	• 시험하중은 바퀴당 사용하중의 3배 • 브레이크 잠겨있을 때 초기 수직하중 0.5 kN 적용 시 포크플레이트의 수직 변위(dc), 잔류변위(dr)를 기준으로 하여 - 최대 시험하중으로 1분 유지 후 수직변위(dc) 측정, 0.5kN으로 복귀하여 30분 후 잔류변위(dr) 측정하여, 총변위 15mm 이내이고, 잔류 변위 1.5mm이내(5회시험)
전도		• 전도에 대한 안전율 ≥ 1.5

〈표 II-13〉 구조물의 부분별 작용하중(DIN EN 1004)

그룹	구분	하중 구분	작용하중	하위 조항
1	작업 발판			
1.1		• 전 구간에 균일하게 분포		8.2.1.2 (최상위 작업발판의 등분포 하중)
1.1.1		- 등급 2	1.5 kN/m ²	
1.1.2		- 등급 3	2.0 kN/m ²	
1.2		• 작업발판에서 가장 불리한 위치에서 500mmx500mm 영역에 집중 * 발판의 폭이 500 mm보다 작아도 하중 을 감소시키지 않아야 함.	1.5 kN	8.3.1 (작업발판의 하중)
1.3		• 작업발판에서 가장 불리한 위치에서 200mm x 200mm 영역에 집중	1.0 kN	8.3.1 (작업발판의 하중)
2	난간			
2.1		• 가장 불리한 위치의 난간 지점 하중	1.25 kN	8.3.2.1 (하향하중)
2.2		• 가장 불리한 위치의 난간 지점 하중	0.3 kN	8.3.2.2 (수평하중)
3	발끝 막이판	• 가장 불리한 위치에서 발끝 막이판 의 지점 하중	0.15 kN	8.3.2.2 (수평하중)
4	구조물 전체의 전도	• 자체중량	자중	
		• 상단 작업발판의 가장자리에서 100mm 지점	·L≤4m : 0.75kN ·L>4m : 2×0.75kN	11.4.2.2.2 (수직하중)
		• 상단 작업발판의 수평하중	·L≤4m: 0.3kN ·L>4m : 2×0.3kN	11.4.2.2.3 (수평하중)
		• 구조물 및 사람에 대한 풍하중	0.1kN/m ² ·발판 L≤4m : 1명 ·발판 L>4m : 2명	
		• 추가하중	1% 경사 시 발생하중	11.4.2.2.4 (추가하중)

또한 조립된 이동식 비계에 대해서는 강성시험을 하도록 규정하고 있다. 시험 방법은 [그림 II-16]과 같이 조립된 이동식 비계의 6m 높이에 X방향과 Y방향으로 500N의 수평하중을 각각 적용할 때 누적변위 200mm를 기준으로 하며, 최대사용높이 산정은 <표 II-14>와 같다. 강성시험의 누적변위에 따른 최대사용높이는 <표 II-15>와 같이 산정하도록 하고 있다. 최대사용높이 산정을 위해서는 설계기준에 따라 이동식 비계의 구조안전성(전도 안전성 포함)을 먼저 확보하여야 한다. 조립체 강성시험은 구조검토 결과 구조안전성이 확보되더라도 조립체 연결부 유격으로 인한 편심, 흔들림 등의 위험성을 최소화하기 위해 실시한다.



(가) 강성시험에 적용하는 수평하중

(나) 변위 측정 및 허용 변위

[그림 II-16] 강성시험에 적용되는 수평하중과 변위 측정 및 허용변위

<표 II-14> 최대사용높이 산정 기준(DIN EN 1004)

기준높이	누적변위	산식	최대사용높이	비고
6m	200mm	$h_1 = \frac{6m \times d_2}{d_1} = \frac{6m \times 200}{200}$	6m	설계기준에 적합(전도 안전성 포함)한 경우에 한함.

<표 II-15> 누적변위에 따른 최대사용높이 산정(예시)

누적변위	산식	최대사용높이	비고
100mm	$h_1 = \frac{6m \times d_2}{d_1} = \frac{6m \times 200}{100}$	12m	설계기준에 적합(전도 안전성 포함)한 경우에 한함.
300mm	$h_1 = \frac{6m \times d_2}{d_1} = \frac{6m \times 200}{300}$	4m	

(2) 미국기준

미국의 경우 ANSI/ASSP A10.8-2019(Scaffolding Safety Requirements)의 11. Manually Propelled and Prefabricated Mobile Scaffolds에서 이동식 비계의 안전기준을 규정하고 있으며, 성능 및 안전기준의 주요 사항에 대해 요약한 자료는 <표 II-16>과 같다.

<표 II-16> ANSI/ASSP A10.8-2019의 이동식 비계 안전기준

구분	규 정
최대 사용 높이	• 최대 높이 : 밑변 최소폭의 4배 이하 ※ 아웃트리거는 밑변 최소폭에 포함되며, 아웃트리거가 비대칭 구조인 경우 유자격자에 의해 안전성을 검토한 후 설치
브레이싱	• 교차가새, 대각재 등의 가새 중 첫 번째 가새는 발바퀴 상부 3피트 이내에 설치 단, 변위제어가 가능하도록 특별히 설계된 경우는 제외 • 후크형 작업발판을 설치할 경우 최상부 대각재로 대체 가능
안전난간	• 상부난간 : 36~45인치(91.4~114.3cm), 중간난간 : 상부난간과 발판의 중간 • 상부난간대가 설치된 교차가새의 교차점의 높이가 20~30인치(50.8~76.2cm)인 경우 중간난간대를 설치한 것으로 인정함. • 중간난간대 기준과 규격 - 직경 : 상부 및 중간 난간대는 최소 직경 0.6cm 이상 - 강도 : 최소 200파운드(90kgf)의 하중에 견딜 수 있어야 함.
발끝막이판	• 높이는 3.5인치(8.9cm) 이상
작업발판	• 작업발판은 승강 구간을 제외하고 전구간 설치 • 작업발판 최소폭 : 18인치(45.7cm) 이상 • 작업발판 간의 틈 : 1인치(2.54cm) 이하
승강설비	• 승강설비는 작업자의 승강 시 편심하중에 견딜수 있는 구조 • 승강설비 답단 간격 - 첫 번째 답단 : 19인치(48.26cm) 이내 - 그 외 답단 : 16~3/4인치(42.5cm) 이내
발바퀴와 스크류잭	• 발바퀴 : 설계작업하중의 4배에 견딜 수 있는 강도의 구조, 불시 이동과 전도 예방을 위한 구름방지 기능이 있어야 하고, 작업 시 바퀴구름방지 조치를 하여야 함. • 스크류잭 : 수직재 하부에 설치, 길이조절(6인치~12인치) 기능
위치 이동 시 안전	• 이동식 비계의 위치 이동을 위한 하중 작용점은 바닥에서 가능한 가까운 위치에 하중을 가함. ※ 위치 이동 시 이동식 비계의 전도 방지(안정)를 위함. • 이동 구간에는 장애물이나, 개구부가 없어야 함. • 이동식 비계 위치 이동 시 승강 또는 탑승하지 않아야 함. • 이동 전 작업발판 위의 자재 등을 제거하여야 하며, 소자재 등이 있는 경우 발끝막 이판을 설치하도록 함.
기타	• 이동식 비계의 설치·해체·사용 시 제조자가 제공하는 매뉴얼에 따름.

3. 이동식 비계의 국내·외 제품군 현황

1) 국내 이동식 비계 제품군 현황

건설현장의 낮은 높이에 주로 사용하는 작업발판은 이동식 비계, 말비계 및 고소작업대가 있으며, 이동식 사다리의 경우 승강이 주용도지만 운반과 작업의 편리성 등의 이유로 작업발판 용도로 많이 사용되고 있는 실정이다. 이와 같이 실제 건설현장의 낮은 높이용 작업발판의 종류는 [그림 II-17]과 같다.

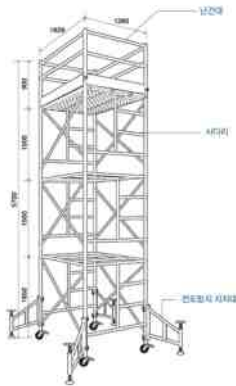


[그림 II-17] 건설현장의 낮은 높이용 작업발판(예시)

이동식 사다리와 말비계는 전도 위험성이 높고, 국내 안전기준에 맞는 안전난간 설치가 어려워 추락 위험성도 높은 것으로 알려져 있다. 따라서 본 연구에서는 이동식 비계와 말비계를 대체할 수 있는 편리하고 안전한 이동식 비계 개발이 목적이므로 말비계와 이동식 사다리의 현황은 이번 연구에서 제외하였고, 이동식 비계 제품 위주로 파악하였다.

국내 생산·유통되고 있는 이동식 비계는 방호장치 안전인증 고시에 따라 안전인증(CE)을 취득한 제품이며, 일부 EN규격에 따라 임의안전인증(S마크)을

받은 제품이 있는 것으로 파악되었다. 이동식 비계의 종류는 [그림 II-18]과 같다. 재료는 주로 강재이나 최근 경량의 알루미늄 제품도 생산·유통되고 있다.



2) 국외 이동식 비계 제품군 현황

국외에서 사용되고 있는 이동식 비계는 국내와 달리 다양한 종류의 이동식 비계가 생산·유통되고 있는 것으로 파악되었다. 특히 알루미늄 재질의 경량 제품과 이동식 비계를 접거나, 작은 크기로 분리하여 차량에 싣고 운반할 수 있는 제품도 있었다. 또한, 안전난간을 미리 설치할 수 있는 제품, 아웃트리거와 주틀 일체형 제품 등 현장의 여건에 맞도록 다양하게 생산되고 있었으며, 이와 관련된 이동식 비계의 종류는 [그림 II-19]와 같다.



(A사 제품)



(B사 제품)



(C사 제품)



(D사 제품)



(E사 제품)



(F사 제품)



(G사 제품)



(H사 제품)



(I사 제품)

[그림 II-19] 국외 이동식 비계의 종류(예시)

3) 국내 이동식 비계 안전인증 현황

(1) 의무안전인증 현황

국내 산업현장에서 사용되는 이동식 비계는 의무안전인증 대상품으로 이동식 비계를 제조하는 제조자는 안전인증을 받아야 하고, 건설현장의 사업주는 안전인증을 취득한 제품을 사용하여야 한다. 이동식 비계의 안전인증 대상 여부에 대한 판단 기준은 아래의 『국민신문고 질의와 답변』과 같다.

「고용노동부 방호장치 안전인증고시(제2021-22호)」[별표18]에서 이동식 비계용 주틀의 구조기준을 기동재 중심간 길이가 1,200mm 이상 1,600mm 이하로 규정하고 있으므로

- 주틀 기동재 중심간 길이가 1,200mm 미만인 소형 이동식틀비계 또는 소형 이동식틀비계에 전용으로 부착되어 사용되는 보조부재(작업대, 발바퀴 등)에는 안전인증기준을 적용하지 않음. (말비계는 안전인증 대상 품목이 아님)

다만, 작업대, 발바퀴, 안전난간 등 주요 부재를 분리하여 판매·사용함으로써 안전인증 대상 이동식 틀비계 등에 사용할 시에는 반드시 산업안전보건법 제84조에 따라 안전인증기준에 적합한 안전인증 제품을 사용하여야 함.

- 아울러, 기동재 중심간 길이가 1,200mm 미만인 이동식 비계의 경우 안전인증 대상이 아니므로, 제작 시 요구되는 성능기준은 없으나, 「산업안전보건기준에 관한 규칙」 및 KOSHA GUIDE(이동식 비계 설치 및 사용안전 기술지침) 등을 준수한다면 사용이 가능함.

이동식 비계를 제조하는 자는 방호장치 안전인증 고시에 따른 안전인증기준 및 절차에 따라 한국산업안전보건공단에 안전인증 신청 후 안전인증을 받아야 하며, 안전인증은 1단계 서면심사, 2단계 기술능력 및 생산체계 심사, 3단계 제품심사가 있으며, 1~3단계 심사를 통과한 제품은 마크를 부착하여 판매, 유통 및 사용할 수 있다. 따라서 국내에서 이동식 비계를 사용하기 위해서는 안전인증을 받아야 하므로 이동식 비계의 안전인증 현황을 분석하였다.

현재 국내 가설기자재의 안전인증 기관은 한국산업안전보건공단의 산업안전보건인증원이다. 인증원의 누리집(홈페이지) 자료실에서 가설기자재 안전인증 취득(반납 및 취소 포함) 현황(2021.07.31.기준)을 파악하였다. 안전인증 취득 현황(방호장치 안전인증 고시 기준)에 대해 항목별, 인증기관별로 제품의 모델

수를 분석한 결과는 <표 II-17>과 같다. 가설기자재의 안전인증은 2015년부터 안전보건공단에서 단독으로 안전인증 업무를 수행하고 있다. 한국건설가설협회의 안전인증 실적은 안전보건공단에서 단독으로 안전인증을 수행하기 전의 실적이다. 이동식 비계 구성요소 중 안전인증을 받은 모델수는 난간틀, 주틀, 교차가새, 아웃트리거, 발바퀴 순으로 나타났다. 특히 이동식 비계용 발바퀴의 경우 안전인증을 취득한 제품(모델)은 1종으로 나타나, 다양한 제품이 안전인증을 받을 수 있도록 안전인증기준을 국제기준과 부합화할 필요가 있다.

〈표 II-17〉 이동식 비계 구성요소별 의무안전인증 현황(모델수)

(단위 : 개)

항목	합계	안전인증 기관	
		공단	한국건설가설협회
합계	70	36	34
이동식 비계용 주틀	18	11	7
이동식 비계용 발바퀴	1	1	-
이동식 비계용 난간틀	24	11	13
이동식 비계용 아웃트리거	12	6	6
틀형 비계용 교차가새	15	7	8

주1) 기준일 : 2021.07.31.

주2) 2015년 가설기자재 안전인증 공단 단독 수행

(2) 임의안전인증 현황

안전인증 대상에 해당되지 않는 유해·위험기계기구는 해외 규격에 적합할 경우 심사(성능 등)를 통해 임의안전인증(S마크)을 취득할 수 있다. 임의안전인증제도는 안전인증을 받으려는 제조사가 국제표준화기구(ISO), 미국국가표준협회(ANSI) 규격 등 특정 국제기준 적용을 요청하는 경우 해당 기준에 따라 심사할 수 있도록 규정하고 있다(박주동 등, 2020; 고용노동부, 2021). 이동식 비계의 임의안전인증 현황을 파악한 결과는 <표 II-18>과 같으며, S마크를 취득한 제품은 [그림 II-20]과 같다. 이 제품은 EN규격에 따라 임의안전인증을

취득한 제품이며, 동 제품의 공식 누리집(홈페이지) 자료에 따르면 최대 설치 높이는 5.5m이며, 알루미늄 제품으로 가벼운 특징이 있다. 그러나 비계 설치·해체 시 주틀과 안전난간을 설치하거나 해체할 때 단부로 추락할 위험이 있고, 이동식 비계를 옮겨 설치할 때 아웃트리거의 제 기능이 어려워 전도(뒤집힘) 위험이 다소 있는 것으로 판단된다. 국내 이동식 비계의 경우 의무안전인증 대상품인 경우 방호장치 안전인증 고시에 따라 안전인증을 받을 수 있고, 의무 안전인증 대상품인 아닌 경우 임의안전인증(S마크)을 취득할 수 있다. 따라서 다양한 이동식 비계의 생산·유통을 위해서는 임의안전인증 제도를 활성화 할 필요가 있다.

〈표 II-18〉 이동식 비계의 임의안전인증 현황(모델수)

(단위 : 건)

항목	합계	안전인증 기관		비고
		공단	한국건설기설협회	
이동식 소형타워 안전작업대	1	1	-	EN규격

* 기준일 : 2021.07.31.



[그림 II-20] 이동식 소형타워 안전작업대(S마크 인증품) (예시)
 <출처> www.seilsys.com

4. 시사점

이동식 비계에 관한 기준을 고찰한 결과, 국내 이동식 비계는 방호장치 안전 인증 고시에 따라 의무안전인증 대상으로 구조와 규격 및 성능이 규정되어 있어, 구조와 규격 및 성능을 동시에 충족해야 되므로 다양한 제품의 개발이 어려운 실정이다. 주틀의 경우 폭 1.2~1.6m로 규격화되어 좁은 장소에서 사용이 어렵고, 아웃트리거의 경우에도 너비(폭) 0.6m 이상이고, 높이는 너비의 2배 이상으로 규정하고 있어, 주틀의 높이와 관계없이 크고 무거운 아웃트리거를 사용해야 되므로 현장 활용성이 낮은 것으로 판단된다. 또한 이동식 비계의 주틀은 틀 비계의 교차가새를 사용하고 있어, 길이 조절이 어렵다. 유럽의 경우 DIN EN 1004의 이동식 비계의 설계기준에 따라 설계하중(수직 및 수평하중)을 적용하며, 전도에 대한 안전율 1.5을 고려하도록 하고 있다. 또한 이동식 비계의 조립체 강성시험을 실시하도록 하여 수평하중 0.5kN 적용 시 X방향과 Y방향의 누적 변위에 따라 최대사용높이를 결정하도록 하는 등 합리적인 설계·제작 기준을 마련하고 있다. 미국의 ANSI규격에는 최대 사용높이를 국내의 기준과 거의 유사하게 밑변 최소폭의 4배 이하로 규정하고 있다. 최근 국내 제조사에서 제작한 이동식 비계가 EN규격에 따라 임의안전인증(S마크)을 취득하였다. 따라서 이동식 비계의 다양한 제품의 개발·보급을 위해서는 EN규격을 참조하여 안전인증 기준을 개정 또는 준용하도록 하고, 『이동식 비계 설치 및 사용안전 기술지침(KOSHA GUIDE)』과 『비계 및 안전시설물 설계기준』에 이동식 비계 설계 및 사용 시 해외 표준규격(EN 규격 등)을 참조하여 적용할 수 있도록 관련 기준의 개정이 필요하다.

Ⅲ. 이동식 비계 중대재해 및 실태조사 분석

.....

Ⅲ. 이동식 비계 중대재해 및 실태조사 분석

1. 최근 10년간 이동식 비계 중대재해 분석

1) 개요

건설현장의 이동식 비계 관련 재해예방을 위해 사고성재해의 작업내용, 작업 방법, 추락높이, 작업공종 등에 대한 상세한 원인분석이 필요하다. 그러나 산업 재해통계 자료로는 추락높이, 작업공종 등 재해의 다각적 분석이 어려워 본 장에서는 건설현장의 이동식 비계와 관련된 중대재해(부상재해를 제외한 사고성 사망재해)의 심층분석을 위해 최근 10년간(2011년~2020년, 재해조사일 기준)의 건설업 중대재해조사의견서(4,427건)를 통해 파악하였다. 최근 10년간 사고 사망자(4,524명) 현황은 <표 Ⅲ-1>과 같다. 이동식 사다리 관련 사고사망자는 3.8%(173명)를 점유하였으며, 이동식 비계 관련 사고사망자는 2.6%(117명)를 점유한 것으로 나타났다.

<표 Ⅲ-1> 최근 10년간 건설업 사고사망자 현황

(단위 : 명, %)

구분	합계	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
건설업 전체	4,524	495	503	492	381	445	504	465	421	417	401
이동식 비계 (점유율)	117 (2.6)	16 (3.2)	12 (2.4)	11 (2.2)	10 (2.6)	10 (2.2)	7 (1.4)	11 (2.4)	14 (3.3)	17 (4.1)	9 (2.2)
이동식 사다리 (점유율)	173 (3.8)	14 (2.8)	19 (3.8)	13 (2.6)	15 (3.9)	18 (4.0)	11 (2.2)	16 (3.4)	27 (6.4)	21 (5.0)	19 (4.7)

이동식 사다리 관련 사고사망자는 재해는 대부분 사다리로 승강 또는 작업 중 사다리에서 떨어지거나, 사다리가 넘어지며 떨어지는 사고가 대부분이며, 본 연구의 대상이 아니므로 상세 분석은 제외하였다. 최근 10년간 이동식 비계

관련 사고사망자 117명을 대상으로 발생형태별, 공사종류별, 주틀 설치 단수별 등 재해 특성에 대해 분석하였다.

2) 이동식 비계 사고사망자 상세 분석

최근 10년간(2011년~2020년)의 건설업 중대재해 중 사고사망자는 총 4,524명(10년간 누계)으로 파악되었으며, 본 연구의 대상이 되는 이동식 비계 관련 사고사망자는 총 117명으로 연평균 11.7명이며, 매년 최소 7명에서 최대 17명이 사망한 것으로 나타났다. 사고사망자 상세분석은 발생형태별, 추락높이와 주틀단수별, 직종별, 공사규모와 공사종류별, 재해원인별 등에 대해 재해특성을 분석하였다.

(1) 발생형태별 현황

이동식 비계에서 발생한 사고사망자 중 발생형태에 대한 분석 결과 <표 III-2>와 같이 떨어짐(추락) 88.0%(103명), 뒤집힘(전도) 10.3%(12명), 무너짐(붕괴) 1.7%(2명) 순으로 발생한 것으로 나타났다.

<표 III-2> 발생형태별 현황

(단위 : 명, %)

구분	합계	떨어짐(추락)	뒤집힘(전도)	무너짐(붕괴)
사고사망자	117	103	12	2
점유율(%)	100	88.0	10.3	1.7

이동식 비계에서 발생한 떨어짐 재해의 주요 원인별(기인물) 상세 분석결과 <표 III-3>과 같이 안전난간(73.8%, 76명), 승강설비 중 사다리(23.3%, 24명), 작업발판(2.9%, 3명) 순으로 나타났다. 현행 이동식 비계는 규격화 된 주틀을 사용하고 있으며, 주틀의 수평재를 사다리로 이용하거나, 별도의 사다리를 승강설비로 사용하고 있다. 또한, 작업발판 상부에 설비나, 구조물의 간섭으로 안전난간을 설치할 수 없는 경우에 추락위험이 있다. 이러한 문제점을 개선하기

위해 다양한 높이의 주틀이 생산·유통되고, 가설계단 등 안전한 승강설비를 사용할 수 있도록 이동식 비계를 개발할 필요가 있다.

〈표 Ⅲ-3〉 떨어짐 재해 원인별 현황

(단위 : 명, %)

구분 소계	합계	안전난간(73.8%)		승강설비(23.3%)		작업발판(2.9%)	
		미설치	미흡	계단	사다리	미설치	미흡
사고사망자	103	62	14	0	24	1	2
점유율(%)	100	60.2	13.6	0.0	23.3	1.0	1.9

이동식 비계의 뒤집힘(전도), 무너짐(붕괴)에 의한 사망자는 총 14명으로 원인별 상세분석 결과 〈표 Ⅲ-4〉와 같이 이동식 비계 뒤집힘(전도)의 공통원인은 아웃트리거 미설치 또는 미흡이며, 상세 원인으로는 불시 이동 21.4%(3명), 발판 위 사다리 사용 14.3%(2명), 해체 중 불균형 모멘트, 경사지 이동, 수평 이동, 지반단차, 외부요인(충격), 난간에 기대어 작업, 중량물 운반의 원인으로 각각 1명이 발생하였다. 이동식 비계 무너짐(붕괴)의 주요 원인은 주틀 교차 가새 불량 및 외부요인(해체구조물 충격)에 의해 발생한 것으로 분석되었다. 이동식 비계의 뒤집힘(전도) 및 무너짐(붕괴) 재해를 예방하기 위해서 아웃트리거 등 설치가 용이하고 제 기능을 할 수 있도록 연구개발이 필요하며, 안전인증품 등 성능이 확인된 제품을 사용토록 철저한 관리가 필요하다.

〈표 Ⅲ-4〉 뒤집힘(전도)·무너짐(붕괴) 재해 원인별 현황

(단위 : 명, %)

구분 소계	합계	뒤집힘(전도)									무너짐(붕괴)	
		불시 이동 (2~4 단)	발판위 사다리 사용 (2단)	해체중 불균형 모멘트 (4단)	경사지 이동 (3단)	수평 이동 (3단)	지반 단차 (2단)	외부 요인 (충격) (2단)	난간 기대어 작업 (1단)	중량물 운반 (1단)	교차 가새 불량 (1단)	외부 요인 (충격) (1단)
사고 사망자	14	3	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1
점유율 (%)	100	21.4	14.3	7.1	7.1	7.1	7.1	7.1	7.1	7.1	7.1	7.1

(2) 추락 높이와 주틀 단수별 현황

이동식 비계의 떨어짐(추락) 사망재해(102명)에 대한 추락 높이별 상세 분석 결과는 <표 III-5>와 같으며, 2m 이하 50%(51명), 3~4m 이하 25.5%(26명), 2~3m 이하 14.7%(15명), 5m 초과 7.8%(8명), 4~5m이하 2%(2명) 순으로 나타났다. 5m 초과인 경우 이동식 비계 상부 작업발판에서 작업층의 아래층 등 하부 바닥으로 떨어진 것으로 확인되었다. 이동식 비계의 경우 추락 높이는 주틀의 설치 단수와 직접적인 관계가 있다. 주틀의 단수에 대한 분석 결과 <표 III-6>과 같이 주틀 1단 56.4%(66명), 2단 32.5%(38명), 3단 6.8%(8명), 4단 4.3%(5명) 순으로 발생되었으며, 주틀의 설치단수가 2단 이하에서 전체의 88.9%를 점유한 것으로 나타나, 이동식 비계는 주로 주틀 높이가 2단 이하인 3.5m 이하에서 주로 사용하고 있는 것으로 추정된다.

<표 III-5> 추락높이별 현황

(단위 : 명, %)

구분	합계	2m 이하	2~3m이하	3~4m이하	4~5m이하	5m초과
사고사망자	102	51	15	26	2	8
점유율(%)	100	50.0	14.7	25.5	2.0	7.8

<표 III-6> 주틀 설치단수별 현황

(단위 : 명, %)

구분	합계	1단	2단	3단	4단
사고사망자	117	66	38	8	5
점유율(%)	100	56.4	32.5	6.8	4.3

이동식 비계의 사고사망재해에 대해 발생형태와 주틀 설치단수로 분석한 결과 <표 III-7>과 같다. 떨어짐(추락)(103명)의 경우 2단 이하에서 92.2%(95명)가 발생하였고, 뒤집힘(전도)(12명)의 경우 2단 이상에서 83.3%(10명)를 차지하였다. 무너짐(붕괴)(2명)의 경우 1단에서 모두 발생하였으며, 주틀의 교차가새 불량(1명) 및 외부 요인(1명, 해체구조물의 충격)에 의해 발생한 것으로 분석되었다.

〈표 Ⅲ-7〉 발생형태-주틀 설치단수별 현황

(단위 : 명)

구분	합계	떨어짐(추락)	뒤집힘(전도)	무너짐(붕괴)
합계	117	103	12	2
1단	66	62	2	2
2단	38	33	5	-
3단	8	5	3	-
4단	5	3	2	-

(3) 직종별 현황

이동식 비계의 사고사망재해에 대해 직종별로 분석한 결과는 〈표 Ⅲ-8〉과 같으며, 보통인부 15.4%(18명), 설비공 14.5%(17명), 도장공 8.5%(10명), 용접공 8.5%(10명), 전기공 6.8%(8명), 내장목공 6%(7명) 등의 순으로 발생한 것으로 나타나, 이동식 비계를 주로 사용하는 공종은 설비, 도장, 용접, 전기, 목공, 조적, 방수 등 낮은 높이의 작업과 관련이 있는 것으로 나타났다. 이들 공종은 단독 작업이 가능한 작업으로 이동식 비계 연구개발 시 1인이 운반, 설치·해체가 가능하도록 할 필요가 있다.

〈표 Ⅲ-8〉 직종별 현황

(단위 : 명, %)

구분	합계	보통인부	설비공	도장공	용접공	전기공	내장목공	건축공	조적공	방수공	해체공	철근공	형틀목공	기타
사고사망자	117	18	17	10	10	8	7	5	5	4	4	4	4	21
점유율(%)	100	15.4	14.5	8.5	8.5	6.8	6.0	4.3	4.3	3.4	3.4	3.4	3.4	17.9

(4) 공사규모-공사종류별 현황

이동식 비계의 사고사망재해에 대해 공사규모-공사종류별 분석 결과 <표 III-9>와 같다. 공사종류별로는 개·보수 및 인테리어 공사 22.2%(26명), 공장 및 창고 공사 17.9%(21명), 근생시설 및 빌딩 10.3%(12명), 설비공사 9.4%(11명), 아파트 및 오피스텔 8.5%(10명), 토목공사 6.0%(7명) 등의 순으로 나타났다. 공사규모별로는 20억원 미만의 소규모 건설현장에서 59%(51명)를 점유한 것으로 나타났으며, 그 중 5천만원 미만의 단기간 공사(개보수 및 인테리어 등)에서 27.4%를 차지하는 것으로 분석되었다. 또한 안전관리자를 의무적으로 선임해야하는 대규모 건설현장(120억원 이상)에서도 17.1%(20명)를 점유하였으나, 초고층 건설현장(건축물 높이 200m 이상 또는 50층 이상인 건축물)에서 이동식 비계와 관련된 사고사망재해는 발생하지 않았다. 이는 초고층 건설현장 등 대규모 건설현장(800억원 이상)에서는 이동식 비계 보다 고소작업대를 선호하며, 중·소규모 건설현장에 비해 안전교육, 안전순찰 등 체계적인 안전관리가 이루어지고 있어, 안전난간 등 안전시설의 설치율과 개인보호구 착용율이 높은 것으로 판단된다. 현행 이동식 비계의 추락사고 예방을 위해서는 현장관계자의 관리감독만으로는 재해예방에 한계가 있을 것으로 판단되므로 이동식 비계의 근원적인 문제점 분석 후 이를 반영한 이동식 비계 개선 모델 제안이 필요하다.

〈표 Ⅲ-9〉 공사규모-공사종류별 현황

(단위 : 명, %)

구분	합계	5천만원 미만	5천~ 1억원 미만	1억원~ 3억원 미만	3억원~ 20억원 미만	20억원~ 50억원 미만	50억원~ 120억원 미만	120억원~ 800억원 미만	800억원 이상
합계	117 (100)	32 (27.4)	11 (9.4)	6 (5.1)	20 (17.1)	18 (15.4)	10 (8.5)	16 (13.7)	4 (3.4)
개보수 및 인테리어	26 (22.2)	12	5	2	6	-	-	1	-
공장 및 창고	21 (17.9)	7	2	-	6	5	1	-	-
근생시설 및 빌딩	12 (10.3)	-	2	-	1	2	3	4	-
설비공사 (전기통신소방)	11 (9.4)	5	1	1	4	-	-	-	-
아파트 및 오피스텔	10 (8.5)	-	-	-	1	2	1	4	2
토목	7 (6.0)	-	-	1	1	1	-	4	-
학교,종교 및 병원	5 (4.3)	1	-	-	1	1	1	1	-
해체 및 철거공사	4 (3.4)	3	-	1	-	-	-	-	-
단독주택	4 (3.4)	2	1	1	-	-	-	-	-
다세대다가구	1 (0.9)	-	-	-	-	1	-	-	-
기타건축	16 (13.7)	2	-	-	-	6	4	2	2

* ()은 점유율

(5) 국적별 현황

이동식 비계의 사고사망재해에 대해 국적별 분석결과 〈표 Ⅲ-10〉와 같이 내국인이 98.3%(115명)이고, 외국인(중국)은 1.7%(2명)로 나타났다.

〈표 Ⅲ-10〉 국적별 현황

(단위 : 명)

구분	합계	내국인	외국인(중국)
사고사망자	117	115	2
점유율	100	98.3	1.7

3) 사망사고 발생 이동식 비계의 안전시설 설치 실태

최근 10년간(2011년~2020년)의 건설업 중대재해 중 이동식 비계 관련 사고 사망자는 총 117명이며, 사망사고가 발생한 해당 이동식 비계의 안전시설 설치 실태를 파악하였다. 안전시설 설치 실태 파악은 이동식 비계의 안전시설물 중 중대재해 분석 결과 사망사고에 직·간접적으로 기인한 항목을 선정하였다. 안전시설 항목은 안전난간, 작업발판, 승강설비, 아웃트리거, 발바퀴로 한정하여 분석하였으며, 분석 방법은 이동식 비계 관련 사고사망자가 발생한 중대재해 조사의견서의 조사자 의견과 관련 사진을 바탕으로 분석하였다. 중대재해가 발생한 해당 이동식 비계의 주요 안전시설 설치 실태는 <표 III-11>과 같이 5가지 항목으로 구분하였다.

〈표 III-11〉 주요 안전시설 설치 실태

(단위 : 건)

구분	합계	정상설치 여부			
		정상설치	설치미흡	미설치	확인불가
안전난간	117	10	21	81	5
작업발판	일반형	117	44	62*	
	개폐형	-	-	-	11
승강설비	가설계단	-	-	-	1
	사다리	117	99	17	
아웃트리거	117	18	6	84	9
발바퀴(구름방지)	117	62**		22	33

* 작업발판 일부를 누락한 경우 설치미흡 또는 미설치로 분류하였고, 작업발판 후크 불량(2건)을 포함

** 발바퀴의 정상 작동 여부를 사진으로 확인이 어려워 정상 설치 또는 설치미흡으로 분류함.

첫째, 안전난간 설치 실태는 총 117건 중 확인불가 5건을 제외한 112건에 대해 분석한 결과 정상 설치는 8.9%(10건), 설치 미흡은 18.8%(21건)로 나타났다으며, 미설치는 72.3%(81건)로 나타나, 안전난간을 기준에 맞게 적기에 설치한다면 추락재해를 예방할 수 있을 것으로 판단된다. 둘째, 작업발판의 경우 일반형(개폐 불가형)과 개폐형으로 구분하였으며, 확인불가 11건을 제외한

106건에 대해 분석한 결과, 개폐형 작업발판은 사용하지 않는 것으로 파악되었다. 일반형 작업발판의 경우 정상 설치가 41.5%(44건), 설치미흡 또는 미설치는 58.5%(62건)인 것으로 나타나, 이동식 비계 설치·사용 시 절반 이상이 작업 발판 사이 틈이 발생하거나, 일부 구간을 설치하지 않는 것으로 분석되었다. 셋째, 승강설비의 경우 가설계단과 사다리(주틀포함)로 구분하였으며, 확인불가 1건을 제외한 116건에 대해 분석한 결과, 가설계단은 사용하지 않는 것으로 파악되었다. 사다리의 경우 정상 설치가 85.3%(99건), 미설치가 14.7%(17건)로 나타나, 사다리를 정상적으로 설치하는 경우에도 승강 중 추락사고가 발생할 수 있는 것으로 판단된다. 넷째, 아웃트리거 설치상태는 확인불가 9건을 제외한 108건에 대해 분석한 결과, 정상설치가 16.7%(18건), 설치 미흡이 5.6%(6건), 미설치가 77.8%(84건)로 나타나 아웃트리거의 정상 설치율이 낮은 것으로 나타났다. 따라서 이동식 비계의 전도 방지를 위해 설치가 편리하고, 제 기능을 할 수 있는 아웃트리거 개발이 필요한 것으로 판단된다. 다섯째, 발바퀴(구름 방지) 설치상태는 확인불가 33건을 제외한 84건 중 발바퀴 설치는 73.8%(62건)이나, 구름방지조치 여부는 재해조사의견서에 조사자의 의견이나, 사진으로 확인이 불가하여 파악할 수 없었으며, 발바퀴 미설치는 26.2%(22건)를 차지하였다.

4) 이동식 비계 중대재해 주요 사례

건설현장의 이동식 비계와 관련된 중대재해(사고사망재해) 발생원인의 정확한 분석을 통해 현장의 수용성이 높은 개선대책을 마련하기 위해 본 연구에서는 재해발생 주요 원인별 분류체계를 수립하였다. 먼저 대분류로는 발생형태별로 크게 3가지 형태인 떨어짐(추락), 뒤집힘(전도), 무너짐(붕괴)으로 구분하고, 주틀의 설치 단수와 발생 형태의 관계를 파악하기 위해 주틀의 설치 단수로 구분하였으며, 발생형태에 따른 세부적 요인을 소분류로 구분하여 [그림 Ⅲ-12]의 분류체계도와 같이 나타내었다.



[그림 III-1] 이동식 비계 중대재해 분류체계도

(1) 떨어짐(추락) 재해 원인과 주요 사례

떨어짐재해의 주요 원인은 안전난간, 승강설비, 작업발판의 미설치 또는 설치 미흡인 경우가 대부분이다. 그 중 안전난간 73.8%(76명), 승강설비 23.3%(24명), 작업발판 2.9%(3명) 순으로 나타났다. 안전난간 미설치가 전체의 60.2%(62명)로 나타나 떨어짐 사망사고의 주요 원인으로 분석되었다. 승강설비의 경우 가설 계단에서 발생한 사망사고는 없었으며, 주철의 사다리로서 승강 중 또는 안전난간을 넘어가던 중 발생하였다. 작업발판의 경우 작업발판을 설치하지 않았거나, 미흡하게 설치하여 3명의 추락사망자가 발생하였다. 상기와 같이 안전난간을 설치하지 않거나, 설치가 미흡한 이유는 다음과 같다.

첫째, 현행 난간틀은 작업발판을 설치한 이후에 설치하므로 안전난간 설치 전까지 추락위험이 있으며, 이에 대한 사례는 [그림 III-2]와 같다. 특히 단시간 작업의 경우 작업의 편의와 시공성 및 경제성 등의 이유로 안전난간을 임의로 설치하지 않는 경향이 있다.

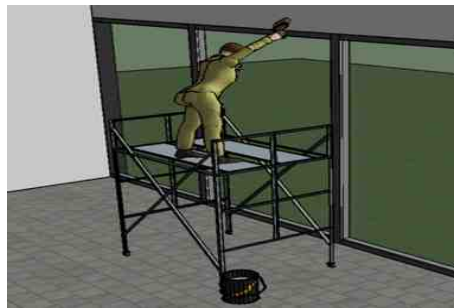


[그림 Ⅲ-2] 이동식 비계 설치 중 추락 사례

둘째, 이동식 비계 전용의 난간틀이 현장에 없거나, 파손된 경우 현장에서 임의로 강관 비계나 교차가새 등을 이용하여 안전난간을 설치하는 과정에서 안전기준에 맞지 않게 설치하는 사례가 있었으며, 유사사례는 [그림 Ⅲ-3]과 같다.



(가) 작업발판 단부 안전난간 미설치 사례(1)



(나) 작업발판 단부 안전난간 미설치 사례(2)



(다) 작업발판 단부 안전난간 설치 미흡 사례



(라) 작업발판 단부 중간난간대 미설치 사례

[그림 Ⅲ-3] 이동식 비계 상부 안전난간 미설치 또는 설치 미흡 사례

셋째, 작업자의 전방 작업면에 안전난간 설치 시 작업의 어려움으로 해당 위치에 안전난간을 설치하지 않는 경우 안전난간이 폐합되지 않아 구조적으로 취약하다. 이와 관련된 사고사례는 [그림 III-4]과 같다.



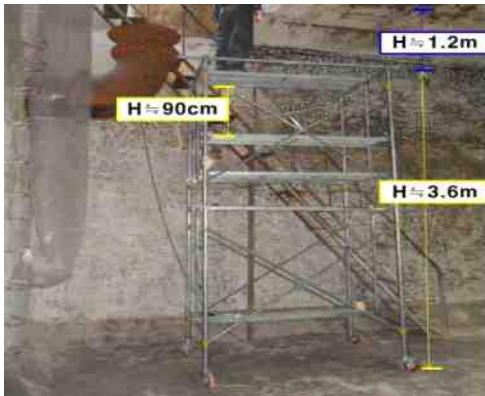
[그림 III-4] 안전난간 미폐합 및 중간난간 미설치 사례

넷째, 현장 여건에 따라 작업발판의 높이 조절이 필요하여, 주틀의 수평보강재(사다리 답단)에 작업발판을 설치하는 경우 단부에 안전난간을 설치하기 어렵다. 이와 관련된 사고사례는 [그림 III-5]와 같다.



[그림 III-5] 주틀 수평재 위치에 작업발판 설치 사례

다섯째, 작업발판 위에 설비나, 구조물 등과의 간섭으로 안전난간 설치에 어려움이 있다. 이와 같은 이유로 안전난간을 설치하지 않거나, 미흡하게 설치하는 실정이며, 이와 관련된 사고사례는 [그림 Ⅲ-6]과 같다.



(가) 구조물과의 간섭 사례



(나) 설비 배관과의 간섭 사례

[그림 Ⅲ-6] 작업발판 상부 구조물 등의 간섭으로 안전난간 미설치 사례

여섯째, 주틀 위 작업구간에는 작업발판을 밀실하게 설치하여야 하나, 작업의 편이나, 간섭 등의 원인으로 일부 구간에 미설치 하거나, 작업발판 후크의 용접부 균열 및 성능이 부족한 자재를 사용한 사례가 있었으며, 이와 관련된 사례는 [그림 Ⅲ-7]과 같다.



(가) 작업발판 후크 용접부 균열 및 변형 발생 사례



(나) 일부 구간 작업발판 미설치 사례

[그림 Ⅲ-7] 작업발판 설치 미흡 및 미설치 사례

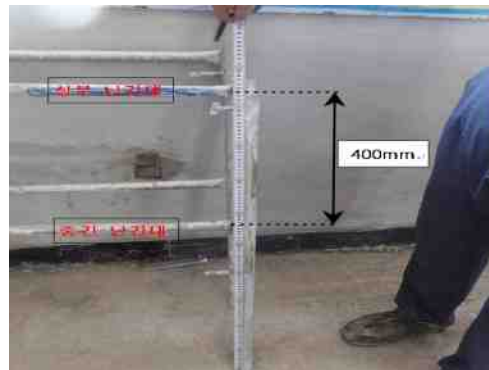
일곱째, 바닥위치에서 작업발판으로 올라가거나, 작업 후 작업발판에서 바닥으로 내려올 때 주틀의 사다리를 사용한다. 안전난간이 설치된 상태에서는 안전난간을 넘거나, 안전난간 사이로 빠져 나올 때 추락하거나, 사다리로 오르고 내릴 때 추락하는 사례가 있었으며, 이와 관련된 사례는 [그림 III-8]과 같다.



(가) 상부 안전난간을 넘어 내려오던 중 추락한 사례



(나) 상부난간과 중간난간 사이로 내려오던 중 추락한 사례



[그림 III-8] 이동식 비계에서 내려오던 중 추락한 사례

이와 같이 이동식 비계의 떨어짐 사망사고 원인에 대한 개선점을 반영한 편리하고 안전한 이동식 비계의 개발이 필요하다.

(2) 뒤집힘(전도) 재해 원인과 주요 사례

이동식 비계 뒤집힘(전도) 재해의 주요 원인은 아웃트리거를 설치하지 않았거나, 미흡하게 설치하여 발생하였다. 뒤집힘 재해 중 주틀의 설치 단수가 2단 이상에서 83.3%(10명) 발생하였으며, 이동식 비계 작업발판에서 작업 중 불시 이동으로 3건이 발생하였다. 불시 이동에 따른 사고사례는 [그림 Ⅲ-9]와 같다.



[그림 Ⅲ-9] 이동식 비계 불시 이동으로 단차구간에서 전도된 사례

작업발판 위에 사다리 사용 중 뒤집힘(전도) 재해가 2건 발생하였으며, 관련 사고사례는 [그림 Ⅲ-10]과 같다.



[그림 Ⅲ-10] 작업발판 위 사다리 설치·사용 중 전도된 사례

이동식 비계 설치·해체 중 불균형 모멘트 발생, 경사지에 설치, 이동식 비계 수평 이동, 설치된 지반의 단차 발생, 외부 요인(충격)으로 각각 1건이 발생하였으며, 대표적인 사고사례는 [그림 Ⅲ-11]과 같다.



(가) 이동식 비계 설치 중 단변방향으로 전도



(나) 경사 지반에 설치(경사 6~8°)되어 전도



(다) 주틀하부 고임 불량으로 전도



(라) 설치 높이 제한 기준 초과로 전도

[그림 Ⅲ-11] 불균형 등으로 전도된 사례

주틀 1단에서는 총 2건이 발생하였으며, 난간에 기대어 작업 중, 이동식 비계 상부에 중량물을 싣고 운반 중에 전도되는 사고가 발생하였다. 난간에 기대어 작업 중 발생한 사례는 [그림 Ⅲ-12]와 같다.



[그림 Ⅲ-12] 안전난간 밖으로 몸을 내밀고 작업 중 전도된 사례

이동식 비계의 뒤집힘(전도)방지를 위해 아웃트리거의 설치가 중요하나, 현행 이동식 비계의 아웃트리거는 받침철물을 지면에 닿도록 설치하여 전도 방지를 할 수 있지만 이동식 비계를 이동시키기 위해서는 아웃트리거의 받침철물(잭 베이스)을 지면에서 이격시켜야 하므로 제 기능을 할 수 없어, 이에 대한 개선이 필요하다.

또한, 이동식 비계 상부에 중량물이 있거나, 작업자가 탑승한 경우 전도의 위험성이 높으므로 이동식 비계에는 중량물 싣거나, 작업자가 탑승한 상태로 이동하지 않도록 관리를 철저히 해야 할 것이다.

(3) 무너짐(붕괴) 재해 원인과 주요 사례

이동식 비계의 무너짐 재해의 주요 원인은 주요 부재(교차가새)의 성능 부족과 외부요인(충격)에 의해 발생한 것으로 나타났으며, 이와 관련된 사고사례는 [그림 Ⅲ-13]과 같다. 이동식 비계의 주요 부재 중 교차가새는 구조적으로 중요하지만, 가새는 가늘고 긴 세장한 부재로 외력 등에 의한 변형에 취약하다. 따라서 건설현장에서는 자재 납입 시 안전인증품 여부 확인과 변형, 단면손실, 부식 등 육안점검을 통해 성능이 확보된 자재를 사용할 필요가 있다.



(가) 교차가새 1개소 미설치



(나) 불량 교차가새 사용으로 교차가새 파괴

[그림 Ⅲ-13] 이동식 비계 교차가새 설치 불량으로 무너진 사례

2. 이동식 비계 사용 실태조사 및 분석

본 절에서는 1절에서 도출된 시사점과 결과를 토대로 이동식 비계 사용상의 현 실태와 문제점 및 개선방안을 파악하고, 이를 반영하여 편리하고 안전한 이동식 비계 모델(안) 도출을 위한 기초자료로 활용하고자 관계자 인터뷰(대면 및 유선)와 설문조사(대면 및 온라인)를 실시하였다.

1) 이동식 비계 이해관계자 인터뷰

(1) 인터뷰 개요

이동식 비계 이해관계자의 인터뷰를 통해 현행 이동식 비계의 사용상 문제점을 파악하고, 안전성과 현장 적용성이 높은 이동식 비계 개발 방향을 설정하고자 하였다. 인터뷰 대상은 크게 건설현장과 제조사로 나눠 실시하였다. 건설현장은 이동식 비계를 사용한 경험이 있는 안전관리자, 관리감독자 및 작업자를 대상으로 하였고, 제조사는 이동식 비계와 이동식 사다리를 제조하는 기업의 관계자를 대상(각 3명 이상)으로 하여 총 28명에 대해 인터뷰를 실시(본 조사 2021. 7.19.~8.31.)하였다. 인터뷰는 이동식 비계 개발 방향 도출을 위해 실시하였으며, 이동식 비계 유통과정과 현장 반입 실태, 이동식 비계 사용 시 비정상 작업 사례, 작업발판·가설계단·아웃트리거·안전난간·교차가새 등의 사용실태와 개선의견, 안전작업 매뉴얼 개발 및 비치 여부, 이동식 비계 개발 시 반영 사항 및 안전인증 등 제도개선에 관한 내용으로 인터뷰하였으며, 질병 관리청의 코로나 방역지침을 준수하여 실시하였다.

(2) 인터뷰 결과 주요 내용

가) 이동식 비계 유통과정 및 현장 반입 실태

- 건설현장의 경우 대부분 협력사에서 임대하여 사용하며, 설비공사 등 일부 공종은 직접 구매하여 사용함.
- 대규모 현장에서는 이동식 비계 반입 시 안전인증품 여부를 확인하며, 이상이 없을 경우 승인태그(빨간색/파란색) 부착 후 사용함.

나) 비정상 작업 실태

- 이동식 비계의 안전난간을 밟고 작업하는 경우도 있으며, 이때 추락 위험이 있음.
- 아웃트리거의 조립·해체가 번거로워 설치하지 않는 사례가 많음.
- 작업높이에 따라 주틀의 답단이나, 안전난간대에 작업발판을 설치하고 작업함.
- 이동식 비계에 작업자가 탑승한 상태로 이동하는 경우가 빈번함.

다) 작업발판 사용실태와 개선의견

- 이동식 비계의 주틀이 규격화(높이 약 1.7m)되어 유통되고 있어, 작업 위치에 따라 안전난간을 설치할 수 없는 경우 추락 위험이 있음.
- 주틀쪽에 맞춰 작업발판을 밀실하게 설치해야 하나, 밀실하게 설치하지 않아 발이 빠지는 등 추락위험이 있음.
- 작업발판의 크기가 다양하게 생산되지만, 대부분 400mm 발판을 보유하고 있어, 개구부가 발생되더라도 밀실하게 설치하지 않고 작업하는 실정임.
- 이동식 비계에 가설계단 설치 시 (절반)덮개형 작업발판을 사용할 경우 승강 시 안전모가 걸리는 등 불편함.
- 덮개형 작업발판 사용 시 덮개를 닫지 않아 추락위험이 있으므로 자동 잠금 기능이 있거나, 경고음 등 센서 탑재 검토 필요

- 대규모 현장에서는 본사 지침에 따라 덮개형 작업발판 사용을 권장하고 있으므로 모든 건설현장으로 확대 시행 필요

라) 가설계단 사용실태와 개선의견

- 이동식 비계의 추락사고 예방을 위해 내부 가설계단 의무 설치토록 제도 개선 필요
- 내부 가설계단 설치 시 단부에 안전난간 설치 필요
- 가설계단 개발 시 저비용으로 개발 필요
- 가설계단 설치 시 작업공간이 협소하므로 이에 대한 검토 필요
- 가설계단(첫단)의 한쪽면이 지면에 닿을 경우 이동 시 손상 우려
- 다양한 재료를 검토하여 중량과 강성 최적화를 통해 원가절감 필요

마) 아웃트리거 사용실태와 개선의견

- 이동식 비계 3단 이상 설치 시 현행 아웃트리거 이외 별도의 지지대 필요
- 이동식 비계를 1단으로 설치 시 아웃트리거의 필수 설치에 대한 검토가 필요하며, 불필요할 경우 권장사항으로 제도 개선 필요
- 아웃트리거 설치·해체 시 불편으로 이동 설치 후 아웃트리거를 일부만 설치하는 경우가 자주 발생
- 아웃트리거의 받침철물 고정 시 나사봉을 회전하여 사용 시 불편하므로 스프링 방식 등으로 개선 필요
- 아웃트리거의 기능과 역할 대비 과다한 성능을 요구하고 있어, 이에 대한 개선 필요
(예) 아웃트리거 1종(주틀 2단 이내)과 2종(주틀 3단이상)으로 구분
- 아웃트리거의 보관 및 운반의 편리성 향상을 위해 경량화와 크기 축소 필요
- 아웃트리거 설치폭을 축소하고, 각도 조절이 가능하도록 개선 필요

바) 안전난간 사용 실태와 개선 의견

- 안전난간은 틀구조로 운반·취급이 불편하고, 강도 향상이 필요함.
- 작업발판 설치 이후에 해당 위치로 이동하여 안전난간을 설치할 수 있어, 안전난간 설치 완료 시까지 추락위험이 있음.
- 생산·유통되는 주틀의 높이는 약 1.7m로 주틀의 상부에 설치하는 안전난간과 상부 구조물(설비 포함)의 간섭으로 안전난간 설치가 어려우므로 작업발판을 일정 간격(예 40cm 이내)으로 설치가능하도록 개선이 필요함.

사) 교차가새 사용 실태와 개선 의견

- 이동식 비계의 교차가새는 주틀간 2조로 설치해야 하나, 일부 설치하지 않는 경우가 빈번함.
- 주틀의 수직재에 교차가새 체결 후 탈락되는 경우가 있어, 유격 등으로 이동식 비계의 흔들림 현상이 발생됨.

아) 안전작업 매뉴얼 개발·비치 여부

- 제조사 방문 인터뷰 결과 제조사별 제품의 특징에 맞는 안전작업 매뉴얼은 별도로 제작하지 않지만, 일부 해외 규격으로 제작된 제품은 안전작업 매뉴얼을 개발하여 제조사 홈페이지를 통해 제공하고 있었음.
- 대규모 현장의 경우 안전보건공단에서 제공하는 기술자료와 안전보건 기술지침을 토대로 교육자료 형식의 매뉴얼을 비치하고 있었으나, 소규모 현장의 경우 대부분 매뉴얼을 비치하지 않고 있었음.

자) 이동식 비계 개발 및 안전인증 등 제도개선에 대한 의견

- 자재가 가볍고 별도의 공구 없이 사용할 수 있도록 개발 필요
- 조적공사용 벽돌 적재 시 견딜 수 있도록 주틀과 작업발판의 내구성 향상 필요
- 작업자의 사용 편의성 개선과 구조안전성을 확보할 수 있도록 개발 필요

- 주틀의 수직사다리로 승강하는 방법을 지양하고, 내부계단 설치 의무화 필요
- 재조립 및 해체 없이 협소한 공간으로 이동이 가능하고 폭이 좁은 곳에서 작업을 할 수 있도록 주틀의 폭과 높이를 조절할 수 있는 제품 개발 필요
- 방호장치 안전인증 고시의 주틀 폭 기준 완화와 다양한 제품 개발이 가능하도록 해외 기준을 준용한 안전인증 기준 마련 필요

차) 초고층 건설현장의 이동식 비계 사용 실태와 개선 의견

- 낮은 높이용 작업발판은 이동식 비계보다 고소작업대를 선호하고 있음.
- 고소작업대 또는 이동식 비계를 사용하기 어려운 장소에는 사다리를 사용하는 경우도 있어, 추락위험이 있음.
- 고소작업대를 사용하기 어려운 장소에 적합한 이동식 비계 개발이 필요함.
- 이동식 비계를 사용할 때 주틀 외측으로 이동하지 않고 내부의 가설계단을 이용하도록 하고 있음.
- 현장 패트론팀을 운영하여 이동식 비계의 안전난간 설치 상태 등을 수시로 확인하고 있으며, TBM 등을 통해 수시로 안전교육을 실시하고 있음.
- 이동식 비계 개발 시 경량화가 필요함.

2) 소규모 현장의 이동식 비계 사용 실태

소규모 건설현장(공사금액 20억원 미만)의 이동식 비계 사용 실태를 파악하기 위해 공단 전산망에 등록된 현장을 임의 선정하여 4개소를 방문하였다. 이동식 비계 설치 실태는 [그림 III-14] 및 [그림 III-15]와 같이 4개소 모두 안전난간과 아웃트리거를 설치하지 않은 상태로 사용하고 있었다. 아웃트리거를 비치하고 있는 곳은 없었으며, 난간틀(안전난간)을 보유하지 않은 곳은 1개소였다. 승강 설비는 주틀의 사다리를 주로 사용하고 있었다. 이와 같이 소규모 현장의 이동식 비계 설치·사용 시 안전난간대, 아웃트리거의 설치율 향상을 위해서는 경량이며, 설치·해체가 용이한 기술개발이 필요하며, 상부 작업발판으로 안전하게 이동하기 위해서는 개폐형 작업발판을 사용하도록 기술지침 개정이 필요하다.



(가) 이동식 비계(1단) 설치 실태(1)



(나) 이동식 비계(1단) 설치 실태(2)

[그림 Ⅲ-14] 이동식 비계(1단) 설치·사용 실태



(가) 이동식 비계(2단) 설치 실태(1)



(나) 이동식 비계(2단) 설치 실태(2)

[그림 Ⅲ-15] 이동식 비계(2단) 설치·사용 실태

3) 설문지 개발, 내용 및 설문방법

(1) 설문지 개발

본 연구의 실태조사를 위한 설문지 개발은 이동식 비계 사용현장 방문조사, 중대재해조사 분석, 전문가 회의, 파일럿(Pilot) 조사를 통해 개발하였다. 첫 번째 단계는 이동식 비계를 사용하는 현장(5개소)을 방문하여 이동식 비계 사용 중

안전상 문제점과 불편사항에 대한 기초 조사를 실시하였다. 두 번째 단계는 건설현장의 중대재해 중 이동식 비계 관련 사고사망재해에 대한 분석을 실시하여 재해원인과 안전시설의 설치 실태에 대해 조사하였다. 세 번째 단계는 건설현장, 재해예방전문지도기관, 안전보건공단 등 전문가 5명을 선정하여 전문가 회의를 실시하였다. 전문가 회의에서 제안된 내용을 반영하였다. 마지막 단계는 첫 번째 단계부터 세 번째 단계까지의 결과를 토대로 설문지를 개발하여 이동식 비계 사용현장을 방문하여 파일럿 조사(5종의 공사규모별 각 3부, 총 15부)를 실시하여 현장에서 이해하기 쉬운 용어로 변경하고, 그림을 추가하는 등 재조정 과정을 거쳐 설문지를 개발하였다. 단, 파일럿 조사는 본 조사의 통계에 반영하지 않았다.

(2) 설문내용

본 연구의 설문구성은 크게 일반사항, 이동식 비계 작업 관련 사항, 이동식 비계 관련 기술 및 제도개선 사항으로 구분하였고, 세부적인 설문조사 모형의 구성은 <표 Ⅲ-12>와 같으며, 설문지는 부록 I에 나타내었다. 설문항목은 단일 또는 다중 선택, 5점 리커트(Likert) 척도 및 주관식 설문으로 구성하였다.

<표 Ⅲ-12> 설문조사 모형의 구성

분류	내 용	문항수
계		25
1. 일반사항	사용 경험, 소재지, 담당업무, 연령, 경력, 공사규모, 공사종류	7
2. 이동식 비계 작업	사고 유형, 불편사항, 내부 계단 설치 유무, 승강 방법, 추락 시 예상 상해 정도와 부위 등	9
3. 이동식 비계 기술 및 제도 개선	이동식 비계의 재해예방을 위한 기술적 개선사항과 제도 개선 사항	7
	이동식 비계 개발 등 관련 기타 의견(주관식)	2

(3) 설문방법

본 연구의 설문은 건설현장의 규모를 5종(3억원 미만, 3~20억원미만, 20~120억원미만, 120~800억원미만, 800억원 이상)으로 구분하여 실시하였다. 설문대상 중 중·소규모 건설현장은 2021.7월~9월 동안 안전보건공단에서 실시하는 패트롤 지도현장과 재해예방전문기술지도기관에서 실시하는 기술지도 현장 및 비계교육기관의 교육생을 대상으로 하였고, 대규모 현장은 유해·위험 방지계획서 대상 현장과 건설업 본사 안전관리자 실무자 협의회 소속현장을 대상(초고층현장 5건 포함)으로 방문, 이메일 및 온라인(문자 포함)으로 설문을 실시하였고, 총 280건(온라인 60건 포함)이 답신되었다.

(4) 자료 분석 방법

본 설문조사는 업무소재지, 담당업무, 업무경력, 공사규모, 공사종류 등의 일반적인 특성에 대한 빈도분석과 그 외 설문 항목은 빈도분석, 다중응답분석 및 기술통계분석을 실시하였다. 설문응답자 총 280명에 대한 공사규모별 응답은 1종(3억원 미만) 53명(온라인 5명 포함), 2종(3~20억원) 63명(온라인 15명 포함), 3종(20~120억원) 52명(온라인 8명 포함), 4종(120~800억원) 50명(온라인 4명 포함), 5종(800억원 이상) 54명(온라인 20명 포함)으로 나타났다. 먼저, 응답자 중 최근 1년 이내 이동식 비계 사용 등 유경험 유무에 대한 분석결과는 <표 III-13>과 같으며, 유경험자는 68.6%(192명)로 나타났고, 무경험자는 31.4%(88명)로 분석되었다. 응답결과의 신뢰성 확보를 위해 통계분석은 유경험자 192명을 대상으로 실시하였다.

〈표 III-13〉 최근 1년 이내 이동식 비계 사용 등 경험 여부

(단위 : 명, %)

구분	응답자 수(N)	퍼센트
합계	280	100.0
유경험자	192	68.6
무경험자	88	31.4

4) 설문 결과

(1) 응답자의 일반적 특성

설문응답자의 일반적 특성에 대한 분석결과는 <표 Ⅲ-14>와 같다. 소재지는 광역시 41.1%, 기타 시 35.4%, 서울특별시 14.1%, 군 소재 5.2%(10명) 등의 순으로 나타났다. 담당업무는 작업자 29.2%, 안전관리자 24.5%, 관리감독자 16.7% 등의 순으로 분석되었다. 연령은 40대 31.8%, 50대 29.2%, 30대 20.8%, 60대 이상 10.9% 등의 순이었으며, 현장경력은 10~20년 미만 29.2%, 20~30년 미만 24%, 5~10년 미만 16.7% 등의 순으로 나타났다. 공사 규모는 800억원 이상 23.4%, 120~800억원 미만 18.8%, 3~20억원 미만 17.2%, 3억원 미만 15.1%, 50~120억원 미만 13.5%, 20~50억원 미만 7.8%로 나타났다. 공사종류는 아파트·주상복합 61.5%, 전기·통신 등 설비공사 16.1% 등의 순으로 분석되었다.

<표 Ⅲ-14> 응답자의 일반적 특성(N=192)

(단위 : 명, %)

구분		응답자 수	퍼센트
합계		192	100
소재지	서울특별시	27	14.1
	광역시	79	41.1
	기타 시	68	35.4
	군	10	5.2
	기타	8	4.2
담당업무	작업자	56	29.2
	작업반장	15	7.8
	관리감독자(작업반장 제외)	32	16.7
	안전관리자	47	24.5
	현장소장	15	7.8
	기타	27	14.1

〈표 III-14〉 응답자 일반적 특성(N=192) (계속)

(단위 : 명, %)

구분		응답자 수	퍼센트
연령	20세미만	0	0
	20대	14	7.3
	30대	40	20.8
	40대	61	31.8
	50대	56	29.2
	60대 이상	21	10.9
현장경력	1년미만	11	5.7
	1년이상~5년미만	26	13.5
	5년이상~10년미만	32	16.7
	10년이상~20년미만	56	29.2
	20년이상~30년미만	46	24.0
	30년 이상	21	10.9
공사규모	3억원 미만	29	15.1
	3~20억원 미만	33	17.2
	20~50억원 미만	15	7.8
	50~120억원 미만	26	13.5
	120~800억원 미만	36	18.8
	800억원 이상	45	23.4
	모름	8	4.2
공사종류	아파트·주상복합	118	61.5
	빌딩·근린생활시설	4	2.1
	다가구·다세대주택	5	2.6
	단독주택	1	0.5
	공장·창고	6	3.1
	토목공사	9	4.7
	전기·통신 등 설비공사	31	16.1
	기타	18	9.4

(3) 이동식 비계 사고 다발 유형

이동식 비계 작업 중 사고가 많이 발생하는 유형의 다중응답(최대 3개 선택) 분석 결과는 <표 Ⅲ-15>와 같다. 응답자 192명에 대한 다중응답의 케이스 퍼센트는 ‘작업발판 단부에 안전난간 미설치 상태로 작업 중 추락’ 65.1%(125명), ‘주틀의 사다리로 오르내리던 중 추락’ 34.4%(66명), ‘작업발판 위에 사다리나 말비계 설치 후 작업 중 추락’ 27.6%(53명), ‘작업발판 단부에 안전난간 설치·해체 중 추락’ 27.6%(53명), ‘전도방지장치(아웃트리거) 미설치로 이동식 비계 전도’ 27.1%(52명), ‘경사로에 이동식 비계를 설치하여 전도’ 26.6%(51명), ‘작업자 탑승 상태로 이동식 비계 이동 중 전도 또는 추락’ 26.6%(51명), ‘바퀴 구름방지장치 미작동으로 흔들림에 의한 추락’ 12%(23명) 등의 순으로 나타났다. 이동식 비계 사고 다발 원인인 안전난간, 승강설비 및 아웃트리거 등 안전시설 설치율 향상을 위해 기술적 개선과 철저한 안전관리가 필요한 것으로 판단된다.

〈표 Ⅲ-15〉 이동식 비계 사고 다발 유형(다중응답) (N=192)

(단위 : 명, %)

구분	응답		케이스 퍼센트
	N	퍼센트	
합계	482	100	251
경사로에 이동식 비계를 설치하여 전도(뒤집힘)	51	10.6	26.6
작업발판 단부에 안전난간 미설치 상태로 작업 중 추락	125	25.9	65.1
작업발판 단부에 안전난간 설치·해체 중 추락	53	11.0	27.6
주틀의 사다리로 오르내리던 중 추락	66	13.7	34.4
작업발판 위에 사다리나 말비계 설치 후 작업 중 추락	53	11.0	27.6
전도방지장치(아웃트리거) 미설치로 이동식 비계 전도(뒤집힘)	52	10.8	27.1
작업자 탑승 상태로 이동식 비계 이동 중 전도 또는 추락	51	10.6	26.6
바퀴(각륜) 구름방지장치 미작동으로 흔들림에 의한 추락	23	4.8	12.0
기타	8	1.7	4.2

(4) 이동식 비계 사용 중 또는 설치·해체 시 불편 여부

이동식 비계 사용 중 또는 설치·해체 시 불편 여부에 대한 분석결과는 <표 Ⅲ-16>과 같다. 응답자(192명) 중 56.8%(109명)가 불편하다고 응답하였으며, 불편하다고 응답한 109명에 대한 불편사항에 대한 다중응답(모두 선택) 케이스 퍼센트는 <표 Ⅲ-17>과 같이 ‘좁은 공간에 설치가 어려워서’ 59.6%(65명), ‘이동식 비계가 무거워서’ 42.2%(46명), ‘높게 설치하면 흔들림이 많아서’ 26.6%(29명), ‘설치·해체 작업이 복잡해서’ 25.7%(28명), ‘사다리로 오르내릴 때 위험해서’ 23.9%(26명), ‘안전난간 설치·해체 시 위험해서’ 21.1%(23명), ‘안전난간을 설치하기가 어려워서’ 21.1%(23명), ‘전도방지장치 설치·해체가 불편해서’ 19.3%(21명), ‘바퀴 구름이 원활하지 않아 이동이 어려워서’ 7.3%(8명) 등의 순으로 분석되었다. 기타 의견으로는 ‘여러 개의 이동식 비계를 연결해서 사용할 때 안전난간은 강관비계로 보강해야 하므로 불편하며, 안전난간대가 천장에 닿아 설치하기 어렵고, 흔들림이 있다’는 의견이 있었다.

〈표 Ⅲ-16〉 이동식 비계 사용 중 또는 설치·해체 시 불편 여부(N=192)

(단위 : 명, %)

구분	응답자 수(N)	퍼센트
합계	192	100
예	109	56.8
아니오	62	32.3
잘 모름	21	10.9

〈표 Ⅲ-17〉 이동식 비계 사용 중 또는 설치·해체 시 불편 사항(다중응답) (N=109)

(단위 : 명, %)

구분	응답		케이스 퍼센트
	N	퍼센트	
합계	220	100	201.8
이동식 비계가 무거워서	46	20.9	42.2
안전난간을 설치하기가 어려워서	23	10.5	21.1
사다리로 오르내릴때 위험해서	26	11.8	23.9
바퀴 구름이 원활하지 않아 이동이 어려워서	8	3.6	7.3
안전인증품을 구하기가 어려워서	2	0.9	1.8
높게 설치하면 흔들림이 많아서	29	13.2	26.6
전도방지장치 설치·해체가 불편해서	21	9.5	19.3
좁은 공간에 설치가 어려워서	65	29.5	59.6
안전난간 설치·해체 시 위험해서	23	10.5	21.1
설치·해체 작업이 복잡해서	28	12.7	25.7
기타	12	5.5	11.0

(5) 작업발판 설치·해체 및 사용 중 위험 또는 불편 사항

이동식 비계의 작업발판 설치·해체 및 사용 중 위험 또는 불편 사항에 대한 분석결과는 <표 Ⅲ-18>과 같다. 응답자 192명에 대한 다중응답(최대 3개 선택) 케이스 퍼센트는 ‘안전난간이 없는 상태로 작업하므로 추락위험’ 58.3%(112명), ‘작업발판의 무게’ 54.2%(104명), ‘결함이 있는 발판 사용으로 추락 위험’ 28.6%(55명), ‘구조적 결함에 의한 파손’ 16.1%(31명) 등의 순으로 나타났다. 기타 의견으로는 ‘1) 걸침고리의 이탈방지 장치로 인해 설치·해체 시 불편하며, 손상이 심해 관리가 어려움. 2) 작업발판 해체 시 안전난간을 먼저 해체해야 하므로 추락 위험 상존’ 등의 의견이 있었다.

<표 Ⅲ-18> 작업발판 설치·해체 및 사용 중 위험 또는 불편 사항(다중응답) (N=192)

(단위 : 명, %)

구분	응답		케이스 퍼센트
	N	퍼센트	
합계	357	100	185.9
작업발판의 무게	104	29.1	54.2
작업발판의 미끄러짐 정도	12	3.4	6.3
작업발판의 처짐	15	4.2	7.8
안전난간이 없는 상태로 작업하므로 추락위험	112	31.4	58.3
구조적 결함에 의한 파손	31	8.7	16.1
결함이 있는 발판 사용으로 추락 위험	55	15.4	28.6
기타	9	2.5	4.7
해당없음	19	5.3	9.9

(6) 작업발판 적정 설치 여부

이동식 비계의 작업발판 적정 설치여부에 대한 분석 결과는 <표 Ⅲ-19>와 같다. 응답자(192명)의 47.9%(92명)는 적정하게 설치하고 있으며, 43.8%(84명)는 미흡하게 설치하고 있는 것으로 나타났다. 작업발판을 미흡하게 설치하는 응답자(84명)에 대해 그 이유를 분석한 결과는 <표 Ⅲ-20>와 같이 ‘틈새가 있더라도 사용상에 문제가 없어서’ 45.2%(38명), ‘설치가 번거로워서’ 20.2%(17명), ‘작업발판이 무거워서’ 3.6%(3명), 기타 31.0%(26명)로 분석되었다. 기타 의견으로는 ‘1) 유통되는 작업발판의 폭이 25, 40, 50cm로 틈새 3cm 이내를 만족하기 어려움 2) 폭 40cm의 작업발판 2개소 설치 시 개구부가 있어 추락위험이 있음. 3) 틈새 3cm 미만을 충족하기 위해서는 50cm 작업발판을 사용해야 하지만, 무거워서 사용하기 불편함.’ 등의 의견이 있었다.

〈표 Ⅲ-19〉 작업발판 적정 설치 여부(N=192)

(단위 : 명, %)

구분	응답자 수(N)	퍼센트
합계	192	100
예	92	47.9
아니오	84	43.8
잘 모름	16	8.3

〈표 Ⅲ-20〉 작업발판을 적정하게 설치하지 않는 이유(N=84)

(단위 : 명, %)

구분	응답자 수(N)	퍼센트
합계	84	100
작업발판이 무거워서	3	3.6
설치가 번거로워서	17	20.2
틈새가 있더라도 사용상에 문제가 없어서	38	45.2
기타	26	31.0

(7) 이동식 비계 내부 계단 설치 여부

이동식 비계의 내부 계단 설치 여부에 대한 분석 결과는 <표 III-21>과 같다. 응답자(192명)의 41.7%(80명)가 계단을 설치하고 있으며, 58.3%(112명)는 계단을 설치하지 않고 있는 것으로 나타났다. 내부 계단 미설치 이유(복수 선택)에 대한 다중응답 케이스 퍼센트는 <표 III-22>와 같이 ‘주틀의 사다리(답단)를 사용하므로’ 47.3%(53명), ‘사용이 불편해서’ 23.2%(26명), ‘내부계단 설치가 번거로워서’ 20.5%(23명), ‘내부계단의 무게가 무거워서’ 9.8%(11명), ‘덮개형(개폐형) 작업발판을 구하기 어려워서’ 8.9%(10명), 기타 3.6%(4명) 순으로 나타났다. 기타 의견으로는 ‘1) 무겁고, 설치가 불편함. 2) 개폐형 발판을 설치하여 주틀 내부 사다리 사용을 권장할 필요가 있음’ 등의 의견이 있었다.

<표 III-21> 이동식 비계 내부 계단 설치 여부(N=192)

(단위 : 명, %)

구분	응답자 수(N)	퍼센트
합계	192	100
예	80	41.7
아니오	112	58.3

<표 III-22> 내부 계단 미설치 이유(다중응답) (N=112)

(단위 : 명, %)

구분	응답		케이스 퍼센트
	응답자 수(N)	퍼센트	
합계	127	100	113.4
내부계단 설치가 번거로워서	23	18.1	20.5
내부계단의 무게가 무거워서	11	8.7	9.8
사용이 불편해서	26	20.5	23.2
덮개형(개폐형) 작업발판을 구하기 어려워서	10	7.9	8.9
주틀의 사다리(답단)를 사용하므로	53	41.7	47.3
기타	4	3.1	3.6

(8) 주틀의 사다리로 승강한 경험 유무

이동식 비계 주틀의 사다리로 승강한 경험 유무에 대한 분석 결과는 <표 Ⅲ-23>과 같다. 응답자(192명)의 89.6%(172명)는 주틀의 사다리를 사용한 경험이 있었고, 10.4%(20명)은 주틀 사다리 이외의 승강설비를 사용한 것으로 나타났다. 주틀 사다리 이외 승강설비를 사용 경험이 있는 응답자(20명)에 대해 그 종류를 분석한 결과, <표 Ⅲ-24>와 같이 가설계단 45%(9명), 임시 사다리 10%(2명), 주틀의 보강재(폭 약 15cm) 15%(3명), 기타 30%(6명)로 나타났다. 기타 의견으로는 주틀사다리와 가설계단 모두를 사용하고 있는 것으로 나타났다.

〈표 Ⅲ-23〉 주틀의 사다리로 승강한 경험 유무(N=192)

(단위 : 명, %)

구분	응답자 수(N)	퍼센트
합계	192	100
예	172	89.6
아니오	20	10.4

〈표 Ⅲ-24〉 주틀의 사다리 이외 승강설비 종류(N=20)

(단위 : 명, %)

구분	응답자 수(N)	퍼센트
합계	20	100
가설계단	9	45.0
주틀의 보강재(폭 약 15cm)	3	15.0
임시 사다리	2	10.0
기타	6	30.0

(9) 이동식 비계 보관 및 운송 시 불편 여부

이동식 비계 보관 및 운송 시 불편 여부에 대한 분석 결과는 <표 III-25>와 같다. 응답자(192명)의 54.2%(104명)는 불편하다고 응답하였고, 45.8%(88명)는 불편하지 않은 것으로 응답하였다. 불편하다고 응답한 104명에 대한 불편한 이유(최대 2개 선택)의 다중응답 케이스 퍼센트는 <표 III-26>과 같이 ‘부재의 크기가 커서’ 88.5%(92명), ‘승용차에 싣기가 불편해서’ 24%(25명), ‘부식 등과 같이 손상이 쉽게 발생해서’ 1.9%(2명), ‘기타’ 8.7%(9명)로 분석되었다. 기타 의견으로는 ‘1) 구성품요소의 훼손, 분실 등으로 완전한 조립의 불편함 등이 있었다. 2) 발바퀴의 결함’ 등의 의견이 있었다.

<표 III-25> 이동식 비계 보관 및 운송 시 불편 여부(N=192)

(단위 : 명, %)

구분	응답자 수(N)	퍼센트
합계	192	100
예	104	54.2
아니오	88	45.8

<표 III-26> 이동식 비계 보관 및 운송 시 불편한 이유(다중응답) (N=104)

(단위 : 명, %)

구분	응답		케이스 퍼센트
	N	퍼센트	
합계	132	100	126.9
부재의 크기가 커서	92	69.7	88.5
부식 등과 같이 손상이 쉽게 발생해서	2	1.5	1.9
승용차에 싣기가 불편해서	25	18.9	24.0
기타	9	6.8	8.7

(10) 이동식 비계 1단(높이 약 2m)에서 추락 시 상해 정도와 상해 부위에 대한 인식

이동식 비계 1단(높이 약 2m)에서 추락 시 상해 정도에 분석 결과는 <표 Ⅲ-27>과 같고, 상해 부위에 대한 분석 결과는 <표 Ⅲ-28>과 같다. 추락 시 상해 정도에 대한 분석결과, ‘골절’ 49.5%(95명), ‘사망’ 28.1%(54명), ‘타박상’ 12.5%(24명), ‘찰과상’ 4.7%(9명), ‘기타’ 3.6%(7명), ‘출혈’ 1.1%(2명), ‘다치지 않음’ 0.5%(1명)로 나타났다. 추락 시 상해 부위는 ‘머리’ 33.9%(65명), ‘다리’ 27.1%(52명), ‘허리’ 22.9%(44명), ‘팔’ 7.8%(15명), ‘기타’ 4.7%(9명), ‘목’ 3.6%(7명)으로 나타났다. 기타 의견으로는 복수응답이 있었고, ‘사고 발생 시 작업환경과 상황에 따라 다를 수 있다’는 의견이 있었다.

<표 Ⅲ-27> 이동식 비계 1단에서 추락 시 상해 정도(N=192)

(단위 : 명, %)

구분	응답자 수(N)	퍼센트
합계	192	100
다치지 않음	1	0.5
찰과상	9	4.7
타박상	24	12.5
골절	95	49.5
출혈	2	1.1
사망	54	28.1
기타	7	3.6

<표 Ⅲ-28> 이동식 비계 1단에서 추락 시 상해 부위(N=192)

(단위 : 명, %)

구분	응답자 수(N)	퍼센트
합계	192	100
다리	52	27.1
팔	15	7.8
허리	44	22.9
목	7	3.6
머리	65	33.9
기타	9	4.7

(11) 이동식 비계 관련 기술 및 제도개선 의견

이동식 비계 기술 및 제도개선 의견에 대해 리커트 5점 척도로 분석한 결과는 <표 III-29>와 같다. ‘이동식 비계의 경량화’와 ‘이동식 비계 설치·해체의 편의성 향상’은 평균 4.4점, ‘이동식 비계 이동의 편리성 향상’은 평균 4.3점으로 기술 개발이 필요한 것으로 분석되었다. ‘작업발판 단부에 안전난간을 미리 설치할 수 있는 방법으로 개선’은 평균 3.8점, ‘사다리에서 가설계단으로 승강설비 변경’은 3.7점, ‘이동식 비계 주틀의 최소폭(1.2m) 기준 완화’는 평균 3.7점, ‘다양한 종류의 이동식 비계 개발을 위해 해외 안전인증 기준으로 안전인증 취득이 가능하도록 제도 개선’은 평균 3.7점으로 나타나, 기술 및 제도개선은 ‘보통~필요있음’으로 중·장기적인 관점에서 기술개발과 제도개선이 필요할 것으로 판단된다.

<표 III-29> 이동식 비계 기술 및 제도개선에 대한 의견

구분	전혀 필요없음	필요 없음	보통임	필요 있음	매우 필요있음	평균	표준 편차
	1	2	3	4	5		
이동식 비계의 경량화	0	4	21	61	106	4.4	0.88
이동식 비계 설치·해체의 편의성 향상	0	6	26	44	116	4.4	0.87
이동식 비계 이동의 편리성 향상	2	2	29	68	91	4.3	0.66
사다리에서 가설계단으로 승강설비 변경	4	31	49	48	60	3.7	1.04
작업발판 단부에 안전난간을 미리 설치할 수 있는 방법으로 개선	0	23	51	54	64	3.8	1.12
이동식 비계 주틀의 최소폭(1.2m) 기준 완화	9	13	71	41	58	3.7	0.96
해외 안전인증 기준으로 안전인증 취득이 가능하도록 제도 개선	5	18	64	44	61	3.7	1.15

(12) 초고층 현장의 이동식 비계 사용 관련 설문 분석 결과

초고층 현장의 이동식 비계 사용에 대한 설문분석 결과, 모든 응답자는 승강 설비로 가설계단을 사용하며, 작업발판 설치 시 틈새 없이 안전기준에 따라 적정하게 설치하는 것으로 분석되었다. 이동식 비계의 안전한 작업을 위한 개선 의견은 '1) 이동식 비계의 경량화와 설치의 단순화 2) 현장에서 주로 사용하는 작업발판의 크기(폭 40cm)에 맞도록 주틀의 폭 개선 3) 작업발판을 원하는 높이에 설치할 수 있도록 개선 4) 작업자의 안전의식 개선을 위한 교육 필요' 등의 의견이 있었다.

3. 소결

최근 10년간 이동식 비계 관련 사고사망자는 총 117명으로 연평균 11.7명이 발생하였으며, 매년 최소 7명에서 최대 17명의 작업자가 이동식 비계 작업 중 사망한 것으로 나타났지만, 초고층 현장에서는 중대재해가 발생하지 않은 것으로 분석되었다. 이동식 비계 사고사망자에 대한 발생형태별 분석결과, 떨어짐(추락) 88.0%(103명), 뒤집힘(전도) 10.3%(12명), 무너짐(붕괴) 1.7%(2명) 순으로 발생한 것으로 나타났으며, 떨어짐 재해의 주요 원인으로는 안전난간의 원인 73.8%(76명), 승강설비 중 사다리의 원인 23.3%(24명), 작업발판의 원인 2.9%(3명) 순으로 나타났다. 현행 이동식 비계는 규격화된 주틀을 사용하고 있으며, 주틀의 수평재를 사다리로 이용하거나, 별도의 사다리를 승강설비로 사용하고 있다. 또한, 작업발판 상부에 설비나, 구조물의 간섭으로 안전난간을 설치할 수 없는 경우에 추락위험이 있다. 이러한 문제점을 개선하기 위해 일정 높이 마다 작업발판을 설치할 수 있고, 가설계단 등 안전한 승강설비를 사용할 수 있도록 이동식 비계 개발이 필요하다. 이동식 비계의 뒤집힘(전도), 무너짐(붕괴)으로 인한 사망자는 총 14명이었으며, 이동식 비계 뒤집힘(전도) 사고의 공통원인은 아웃트리거 미설치 또는 미흡이다. 상세 원인으로는 불시 이동 21.4%(3명), 발판 위 사다리 사용 14.3%(2명), 해체 중 불균형 모멘트, 경사지 이동, 수평이동, 지반단차, 외부요인(충격), 난간에 기대어 작업, 중량물 운반의 원인으로 각각 1명이 발생하였다. 이동식 비계의 뒤집힘(전도)재해를 예방하기 위해서 아웃트리거 등 설치가 용이하고 제 기능을 할 수 있도록 연구개발이 필요하다.

이동식 비계 사용현장 인터뷰 결과, 작업발판 단부에 안전난간을 설치하지 않고 작업하는 경우가 빈번하며, 주된 원인은 1) 주틀의 높이가 일정(약 1.7m)하여 상부 구조물과 간섭 2) 작업발판 설치 이후에 안전난간을 설치하여 위험 3) 난간틀 구조로 취급이 불편하며, 구조적으로 취약 등의 원인으로 나타났다. 이동식

비계 기술개발에 대한 의견은 1) 이동식 비계의 경량화 2) 일정 높이마다 작업 발판을 설치할 수 있도록 개선 3) 설치·해체 및 사용의 편리성 향상 4) 설치 조건에 맞도록 아웃트리거 규격 다양화 5) 좁은 구간에서도 작업할 수 있도록 개발 등의 의견이 있었고, 제도 개선 의견으로는 1) 승강은 내측의 가설계단이나, 주틀 내부 사다리를 이용할 수 있도록 개폐형 작업발판 의무화 2) 다양한 제품의 개발·보급을 위한 안전인증 기준 개선 등의 의견이 있었다. 최근 1년 이내 이동식 비계 사용 등 유경험자 192명에 대한 설문조사 결과 이동식 비계 사고 다발 유형은 ‘작업발판 단부에 안전난간 미설치 상태로 작업 중 추락’, ‘주틀의 사다리로 승강 중 추락’ 등의 순으로 나타났고, 이동식 비계 사용 중 또는 설치·해체 시 불편 사항은 ‘좁은 공간에 설치가 어려워져서’, ‘이동식 비계가 무거워서’, ‘높게 설치하면 흔들림이 많아서’ 등으로 분석되었다. 또한 작업발판 설치·해체 및 사용 중 위험 또는 불편 사항은 ‘안전난간이 없는 상태로 작업하므로 추락위험’, ‘작업발판의 무게’ 등의 순으로 나타났다. 이동식 비계 보관 및 운송 시 불편한 이유는 ‘부재의 크기가 크서’, ‘승용차에 싣기가 불편해서’ 등의 순으로 분석되었다. 이동식 비계 기술 및 제도개선에 대한 의견은 리커트 5점 척도로 분석한 결과, ‘이동식 비계의 경량화’와 ‘이동식 비계 설치·해체의 편의성 향상’은 평균 4.4점, ‘이동식 비계 이동의 편리성 향상’은 평균 4.3점으로 기술개발이 필요한 것으로 분석되었다. ‘작업발판 단부에 안전난간을 미리 설치할 수 있는 방법으로 개선’은 평균 3.8점, ‘사다리에서 가설계단으로 승강설비 변경’은 평균 3.7점, ‘이동식 비계 주틀의 최소폭(1.2m) 기준 완화’는 평균 3.7점, ‘다양한 종류의 이동식 비계 개발을 위해 해외 안전인증 기준으로 안전인증 취득이 가능하도록 제도 개선’은 평균 3.7점으로 나타나, 중·장기적으로 기술개발과 제도개선이 필요할 것으로 판단된다. 초고층 현장의 이동식 비계 사용에 대한 설문분석 결과, 모든 응답자는 승강설비로 가설계단을 사용하며, 작업발판 설치 시 틈새 없이 안전기준에 따라 적정하게 설치하는 것으로 분석되었다. 건설현장의 이동식 비계 관련 인터뷰 및 설문조사 결과 반복적으로 발생하고 있는 추락재해를 예방하기 위해 우선적으로 개선해야 할 사항은 1) 좁은

장소에서도 작업이 가능하도록 개선 2) 안전난간을 미리 설치할 수 있는 기술 적용 3) 승강은 주틀의 내부 계단이나 사다리를 사용할 수 있도록 개폐형 작업 발판 적용 4) 일정 높이 마다 작업발판을 설치할 수 있도록 개선 5) 이동식 비계의 사용 높이에 적합한 아웃트리거를 사용할 수 있도록 개선 6) 다양한 종류의 이동식 비계 개발·보급을 위해 해외 표준규격(EN 등)에 따라 설계 후 안전성이 검증되면 사용할 수 있도록 제도 개선이 필요한 것으로 판단된다.

IV. 이동식 비계 개선 모델(안) 및 구조안전성 평가



IV. 이동식 비계 개선 모델(안) 및 구조안전성 평가

1. 이동식 비계 개선 모델(안)

1) 개발 방향

제2장의 이동식 비계 관련 기준 고찰과 제3장의 이동식 비계 중대재해 및 실태조사 분석결과를 토대로 이동식 비계의 사용상 불편한 점과 작업 중 위험 요인에 대한 개선방안과 이동식 비계와 관련된 이해관계자의 의견을 반영하여 편리하고 안전한 이동식 비계 개발을 위해 다음과 같은 방향을 설정하였다.

첫째, 이동식 비계의 안전성과 편리성 향상을 위해 인간공학적 설계와 구조 최적화 설계(현행 기준 범위 내)를 한다.

둘째, 이동식 비계 설치·해체 시 작업발판 단부에 안전난간 설치·해체 중 추락위험이 있으므로 안전난간 선행공법(선행안전난간대¹⁾)을 적용한다.

셋째, 이동식 비계 승강 시 외측 사다리 이용 중 추락위험이 있으므로 내측 가설계단을 이용하거나, 내측 사다리를 사용할 수 있도록 작업발판은 덮개형으로 개선한다.

넷째, 이동식 비계의 주틀 최소폭은 1.2m로 규격화되어, 좁은 문 통과와 좁은 공간에서 사용이 불가하므로 주틀은 길이 조절이 가능하도록 한다.

다섯째, 이동식 비계의 주틀의 높이는 약 1.7m로 규격화되어, 건설현장의 다양한 높이를 가지는 작업조건에서 사용이 어려우므로 주틀의 높이를 1m 이하로 분리 및 다단이 가능하도록 하여 적절한 작업높이로 맞추도록 한다.

여섯째, 이동식 비계의 전도 방지와 흔들림 최소화를 위해 아웃트리거의 설치가 중요하나 기존 아웃트리거는 이동 시 전도방지 기능을 할 수 없고, 주틀 하부에

1) 하부 작업발판에서 상부 작업발판 단부에 안전난간을 미리 설치할 수 있는 안전난간대로 비계 설치·해체 시 항상 안전난간이 설치된 상태에서 안전하게 작업할 수 있는 안전 신기술임.

발바퀴 설치로 불시 이동과 흔들림으로 추락위험이 있어, 주틀 하부에는 잭베이스를 설치하고, 아웃트리거 외측에 발바퀴를 설치하여 이동식 비계 이동 시 아웃트리거가 발바퀴와 일체화되어 정상적으로 작동될 수 있도록 하며, 아웃트리거 바퀴 내측에 잭베이스를 추가 설치하여 작업 시 흔들림 최소화와 브레이크 기능을 할 수 있도록 한다.

일곱째, 건설현장은 설비작업 등 1인 작업이 많으므로 사다리와 말비계 보다 상대적으로 안전한 이동식 비계 사용을 원하지만 승용차로 운반이 어려우므로 승용차(SUV차량 등)로 운반이 가능하도록 긴 부재는 분리가 가능하거나, 길이 조절이 가능하도록 설계한다.

여덟째, 국내 건설현장에서 이동식 비계를 사용하기 위해서는 안전인증 취득이 필수적이며, 이를 위해 현행 방호장치 안전인증 고시의 성능기준에 만족하도록 설계한다. 다만, 안전인증 비대상(주틀 기둥재 중심간 길이 1.2m 미만)인 경우 임의안전인증(S마크, 해외 기준 적용)을 취득할 수 있으므로 이를 고려한다.

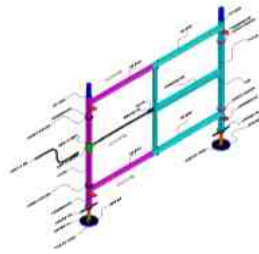
상기와 같은 개발 방향에 따라 국내 및 해외에서 생산·유통되는 이동식 비계 비교 분석 등을 통해 이동식 비계 개선 모델을 설계하였다.

2) 이동식 비계 개선 모델

(1) 이동식 비계 모델링

이동식 비계 개발 방향을 토대로 이동식 비계 사용 시 안전성과 현장 적용성의 객관적인 평가를 위해 [그림 IV-1]과 같이 3차원 모델링을 실시하였다. 이동식 비계의 구성요소에 대한 개요도와 특징은 다음과 같다.

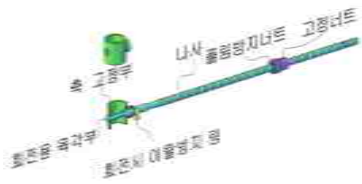
▪ 가변형 다단 주틀



(가) 가변형 상부 주틀 개념도



(나) 가변형 주틀(상·하부) 분리도



(다) 길이조절 나사의 각부 명칭

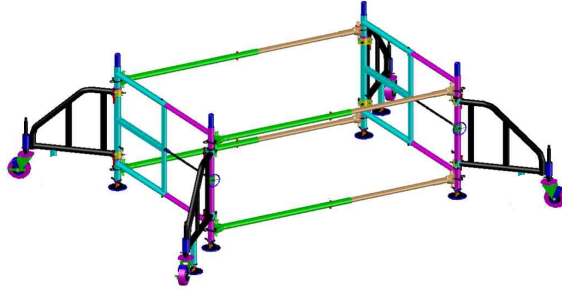


(라) 길이조절용 나사의 핸들

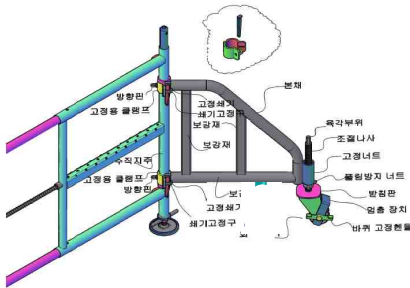
[그림 IV-1] 가변형 다단 주틀의 개념도

가변형 다단 주틀 구성은 상부주틀(수직재 2본, 상부 횡가재(삽입형) 1본, 수평보강재 1본, 길이조절용 수평재 1본), 하부주틀(수직재 2본, 횡가재 1본, 수평보강재 1본, 수직보강재 1본)이며, 작동원리는 주틀을 2본으로 분리할 수 있도록 하고, 상부주틀에 길이 조절용 수평재를 설치하여 길이 조절이 가능하며, 주틀 길이 조절용 나사는 나사산의 피치를 크게 하여 길이 조절이 용이하도록 하였고, 주틀의 길이 조절은 ❶ 공구나 임팩트 이용 ❷ 핸들 이용 중 선택할 수 있다. 특징은 주틀의 길이 조절을 용이하게 하여 좁은 공간 이동과 작업이 가능하도록 하여 현장 적용성을 향상하였으며, 길이 조절은 공구(임팩트 등)를 이용하거나, 핸들을 이용하도록 하여 편리성을 개선하였다.

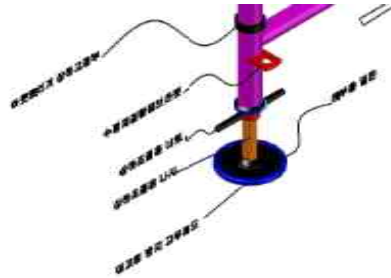
▪ 바퀴 부착형 아웃트리거와 잭베이스



(가) 바퀴부착형 아웃트리거 설치도



(나) 바퀴부착형 아웃트리거 상세도

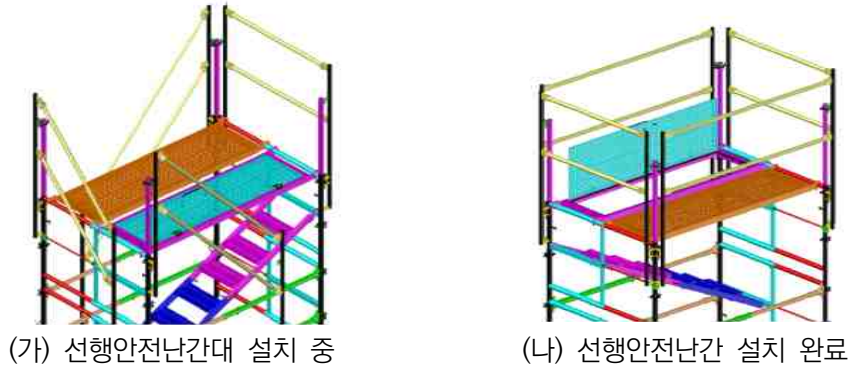


(다) 잭베이스 상세도

[그림 IV-2] 바퀴부착형 아웃트리거 및 잭베이스 개념도

바퀴부착형 아웃트리거의 구성은 본체, 보강재, 발바퀴(고정핸들 포함), 고정용 클램프, 높이 조절 철물로 구성되고, 잭베이스는 길이조절 너트, 하부 받이판, 미끄럼방지 패드로 구성된다. 작동원리는 이동식 비계의 외력이나, 작업하중에 의한 흔들림 방지 등 외적 안정성 확보를 위해 주틀 하부에는 발바퀴 대신 잭베이스를 설치하였고, 이동식 비계 이동 시 전도방지를 위해 아웃트리거의 역할을 할 수 있도록 아웃트리거 외측에 발바퀴를 설치하였다. 특징은 주틀 하부 잭베이스 설치로 작업 시 흔들림을 최소화할 수 있으며, 이동식 비계의 외적 안정성을 확보할 수 있다. 바퀴부착형 아웃트리거는 이동 중에도 전도방지가 가능하다.

■ 이동식 비계용 선행안전난간대



(가) 선행안전난간대 설치 중

(나) 선행안전난간 설치 완료

[그림 IV-3] 이동식 비계용 선행안전난간대 개념도

이동식 비계용 선행안전난간대는 보조수직재 8본(필수, 상부 검정색), 안전난간대 8본(필수, 상부 노란색), 수직재 4본(선택, 상부 보라색)으로 구성되며, 작동원리는 하부의 작업발판에서 상부 작업발판 단부에 안전난간을 미리 설치할 수 있도록 보조수직재를 미리 설치하고, 설치된 보조수직재의 홈에 안전난간(2본)을 연결한 후 별도의 보조수직재 홈에 각각 연결하여 주를 수직재의 플랜지에 체결하는 방식이다. 특징은 작업발판으로 이동하기 전에 안전난간을 미리 설치할 수 있어, 추락 재해를 예방할 수 있다. 안전보건공단에서 개발한 시스템 비계용 선행안전난간 설치 방법은 [그림 IV-4]와 같으며, 이를 이동식 비계에 응용하여 적용하였다.



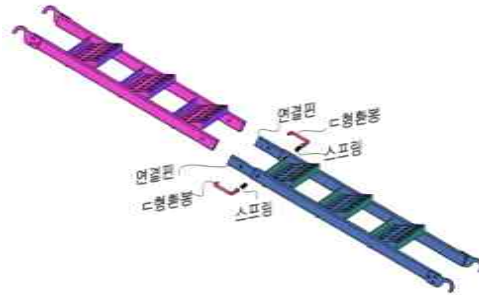
(1단계) 보조수직재(#1) 설치

(2단계)수평안전난간(2단) 설치

(3단계)보조수직재(#2) 연결후 설치

[그림 IV-4] 시스템비계의 선행안전난간대 설치 순서(안전보건공단, 2021)

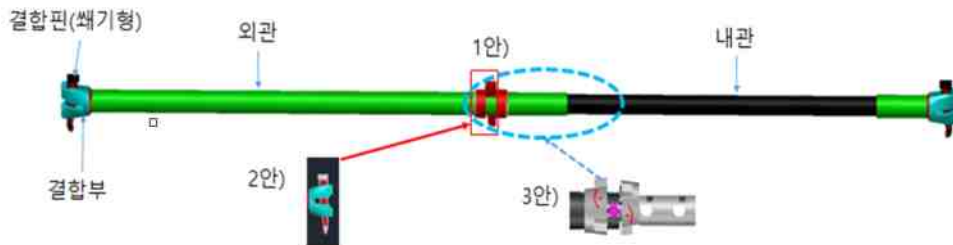
▪ 스프링 ㄷ형 환봉을 이용한 분리형 가설계단



[그림 IV-5] 스프링 ㄷ형 환봉을 이용한 분리형 가설계단 개념도

스프링 ㄷ형 환봉을 이용한 분리형 가설계단의 구성은 상부 가설계단, 하부 가설계단, 연결핀, 스프링, ㄷ형 환봉이며, 작동원리는 상·하부 가설계단의 연결은 스프링형 ㄷ형 환봉을 이용하여 쉽게 연결 및 분리가 가능하다. 특징은 가설계단의 운반과 취급이 용이하도록 상·하 분리가 가능하며, SUV차량 등에 싣고 운반이 가능하다.

▪ 인장 및 압축하중에 저항할 수 있는 길이 조절용 부재

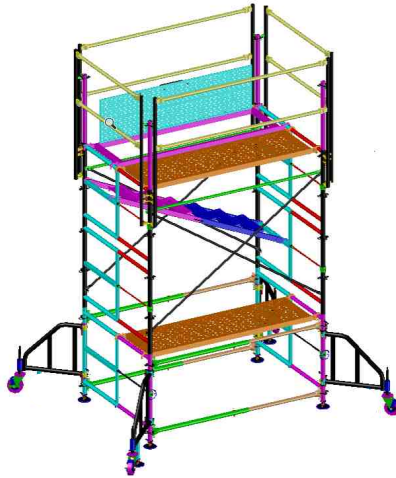


[그림 IV-6] 인장 및 압축하중에 저항할 수 있는 길이 조절용 부재 개념도

인장 및 압축하중에 저항할 수 있는 길이 조절용 부재의 구성은 총 3가지 안으로 고안하였다. 1안의 경우 결합부(양단 각1개), 결합핀(양단 각1개), 외관(1개), 길이조절용 썰기형 핀(1개), 유격 최소화용 스톱퍼(적색, 2개), 내관(흑색)으로 구성된다. 2안의 경우 결합부(양단 각1개), 결합핀(양단 각1개), 외관(1개), 길이조절용 썰기형 핀(1개)과 결합부(1개), 결합부 유격 최소화용 스톱퍼(적색, 1개), 내관(흑색)으로 구성된다. 3안의 경우 결합부(양단 각1개), 결합핀(양단 각1개), 외관(1개), 길이조절용 원형 핀, 길이조절용 너트(2개), 내관(흑색)으로 구성된다.

특징은 부재의 길이조절이 가능하도록 내관을 외관에 삽입할 수 있으며, 내관에는 일정 간격으로 홀을 형성하여 길이조절용 핀(썰기형 또는 원형)으로 길이를 간편하게 조절할 수 있다. 1안의 경우 썰기 설치 위치 양단에 스톱퍼(적색)를 설치하여 썰기가 설치되면 내·외관의 유격을 최소화할 수 있으나, 썰기 이탈방지를 위해 이탈방지 로프를 별도 설치할 필요가 있으며, 홀이 형성된 간격만큼 길이 조절은 가능하나, 미세한 길이 조절은 불가하다. 2안의 경우 썰기 설치 위치의 한쪽에는 결합부를 설치하고, 다른쪽에는 스톱퍼를 설치하여, 내·외관의 유격을 최소화 할 수 있고, 결합부에 썰기 이탈 방지 기능이 있어, 별도의 이탈방지 로프를 설치할 필요가 없으나, 홀이 형성된 간격만큼 길이 조절은 가능하나, 미세한 길이 조절은 불가하다. 3안의 경우 파이프서포트의 길이조절과 동일한 방식이나, 파이프서포트는 압축력에 대해서는 유격이 발생하지 않지만, 인장력에는 외관에 형성된 홈의 길이에 따라 유격이 발생되어 인장부재로 사용할 수 없다. 이러한 문제를 해결하기 위해 외관의 길이조절 구간(나사형)에 길이조절용 너트를 1개소 추가 설치하여 길이조절용 핀의 양단에 너트를 밀착할 경우 유격이 발생되지 않으며, 양단 너트를 동일 방향으로 회전시 미세한 길이조절도 가능하며, 이동식 비계 뿐만아니라 시스템비계 등 다양한 작업의 길이조절용 부재로 사용이 가능하여 활용도가 높을 것으로 판단된다.

▪ 선행안전난간을 적용한 가변형 다단 이동식 비계



[그림 IV-7] 선행안전난간을 적용한 가변형 다단 이동식 비계 개념도

선행안전난간을 적용한 가변형 다단 이동식 비계는 선행안전난간, 교차가새(기성품 사용) 또는 수평재, 가변형 다단 주틀, 바퀴 부착형 아웃트리거, 잭베이스, 분리형 가설계단, 작업발판(덮개형, 일반형 등 기성품 사용)으로 구성된다. 특징은 상부 주틀의 안전난간 설치·해체 작업은 안전난간이 설치된 안전한 작업발판에서 작업이 가능하여 작업자의 근원적 추락재해예방이 가능하다. 이동식 비계의 주틀 하부에 잭베이스 설치로 외적 안정성이 확보되며, 이동식 비계의 위치 이동 시 전도방지를 위해 아웃트리거 하부에 발바퀴가 부착되어 아웃트리거의 제 기능이 가능하다. 주틀 외부로 승강 중 추락방지를 위해 이동식 비계의 내부에서 주틀 사다리를 이용하거나, 가설계단을 이용할 수 있도록 덮개형 작업발판을 설치하였다. 또한 이동식 비계의 운반과 취급이 용이하도록 주틀의 길이 조절 및 분리가 가능하고, 가설계단도 2단으로 분리가 가능하도록 하였다.

상기와 같은 선행안전난간을 적용한 가변형 다단 이동식 비계의 개발의 효과는 다음과 같다.

첫째, 우리연구원에서 기 개발한 시스템비계의 수평 선행안전난간대와 함께 이동식 비계에서도 선행안전난간대를 적용할 수 있어, 현행 안전난간을 나중에

설치하는 후행 안전난간 설치 방법으로 인한 추락위험성을 최소화한 근원적 안전기술로 추락재해예방 효과가 우수하다.

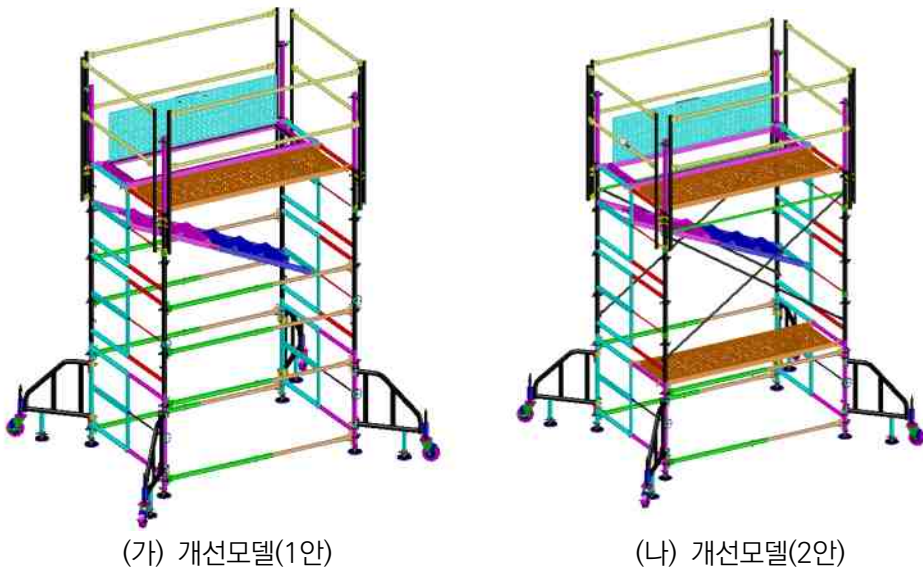
둘째, 이동식 비계에서 승강 시 가설계단이나, 내측 사다리를 사용토록 개선하여 추락재해를 예방할 수 있으며, 이동식 비계의 위치 이동 시 아웃트리거가 제 기능을 할 수 있도록 아웃트리거 외측 하부에 발바퀴를 설치하여 전도위험을 근원적으로 개선하였다.

셋째, 이동식 비계 주틀의 경우 길이 조절이 가능하고, 여러 단을 결합할 수 있어, 건설현장의 다양한 작업환경에 적용이 가능하며, 특히 좁은 문으로 이동하거나 SUV차량으로 운반이 가능하여 기존 말비계와 이동식 사다리를 대체할 수 있다.

마지막으로 편리성과 안전성 및 현장 적용성이 높은 이동식 비계 개발·보급으로 낮은 높이용 작업발판에서의 추락재해예방에 크게 기여 할 수 있을 것으로 기대된다.

(2) 최적 모델 선정

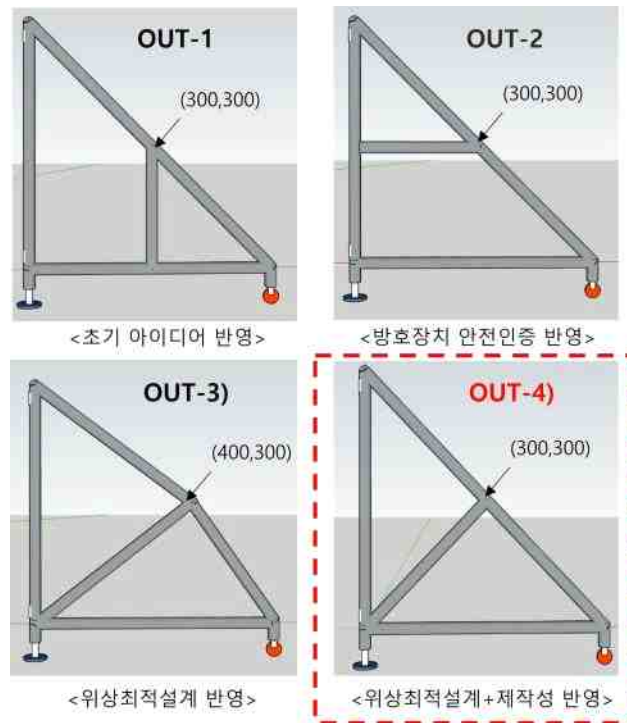
이동식 비계 개선모델의 객관적인 평가를 위해 이동식 비계 전문가(구조기술사, 인간공학전문가, 안전인증전문가, 건설안전전문가 등) 6명을 대상으로 연구진에서 1차 검토하여 선정된 3종의 이동식 비계 3차원 모델링에 대한 평가(2021.8.10.)를 실시하였다. 먼저 이동식 비계 개선모델 개발에 대한 목적에 대해 설명하고, 그 간 선행연구, 실태조사 및 개선모델에 대한 특징 등에 대한 설명을 실시하였다. 마지막으로 이동식 비계 개선모델에 대한 평가를 실시하였으며, 안전성과 현장 적용성이 높은 모델(2종)을 선정하였다. 전문가 회의시 이동식 비계 개선 모델에 대한 일부 보완 의견이 있었다. 보완 의견은 아웃트리거 외측에 설치된 발바퀴에 작업하중 등이 작용될 때 흔들릴 우려가 있으므로 개선이 필요하다는 의견이 있었다. 이를 반영하여 아웃트리거 외측 발바퀴에 근접하여 잭베이스를 추가 설치하는 것으로 보완한 이동식 비계 개선 모델(안)은 [그림 IV-8]과 같다.



[그림 IV-8] 이동식 비계 개선모델(2종)

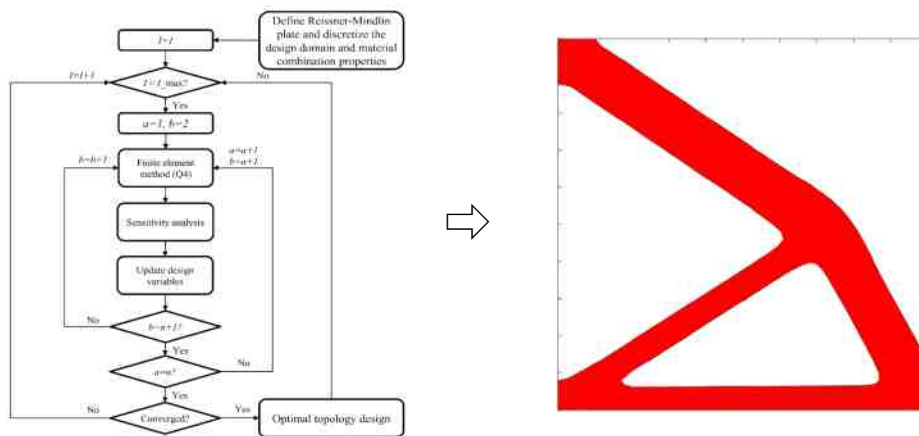
개선모델의 특징은 주틀의 높이를 줄여 기존 이동식 비계 1단의 절반인 0.5단(높이 약 0.9m, 이하 “0.5단”이라 함.)으로 하고, 주틀 폭의 길이조절이 가능하도록 하였으며, 작업발판 단부에는 시스템비계의 선행안전난간대를 응용하여 적용하였다. 또한, 아웃트리거에는 바퀴를 부착하여 이동 시에도 전도방지 효과가 있도록 하였다. (1안)과 (2안)의 차이점을 살펴보면 (1안)은 길이조절형 수평재를 이용하여 폭을 조절할 수 있는 장점이 있으며, (2안)은 기존 이동식 비계와 같이 교차가새를 이용하여 주틀을 연결하므로 현행 교차가새를 사용할 수 있는 장점은 있지만, 길이를 조절할 수 없다. 따라서 전문가 회의 결과에 따라 연구의 효과성과 현장 적용성을 고려하여 이동식 비계의 구조안전성 검토는 (1안)에 한해 구조해석 후 시제품을 제작하여 실물시험을 하는 것으로 결정되었다. 시제품 제작 전 아웃트리거의 구조 위상최적화 설계 (Lee et al, 2021)를 위해 Matlab 상용프로그램을 사용하여 강성을 높일 수 있도록 [그림 IV-9]와 같이 4종의 형상에 대해 검토하였다. 여기서 OUT-1은 발바퀴 부착형 아웃트리거를 고안할 당시 초기 형상이며, OUT-2는 방호장치

안전인증 고시 기준 상의 형상을 적용하였다.



[그림 IV-9] 아웃트리거 형상 비교

주틀에는 분절이 있기 때문에 주틀의 수직재에 연결되기 위해서는 아웃트리거의 실제 규격(너비 600mm, 높이 600mm)을 적용하여 수행한 결과 최대 강성(최소 변형률 에너지)을 갖는 형상(재료 40%)은 [그림 IV-10]과 같다. OUT-1과 기존의 방호장치 안전인증 기준 상의 형상 OUT-2는 최대 강성 대비 강성이 다소 떨어지는 것으로 나타났다. [그림 IV-10]과 같이 위상 최적화된 형상인 OUT-3은 부재수가 5개로 타 형상에 비해 제작성에서 다소 불리한 것으로 분석되었다. 따라서 강성도 우수하고 제작성에 유리한 [그림 IV-9]의 OUT-4를 최종 아웃트리거 모델로 결정하였다.



[그림 IV-10] 아웃트리거 위상최적화 설계 시뮬레이션 형상

2. 이동식 비계 구조안전성 평가

1) 구조해석 개요

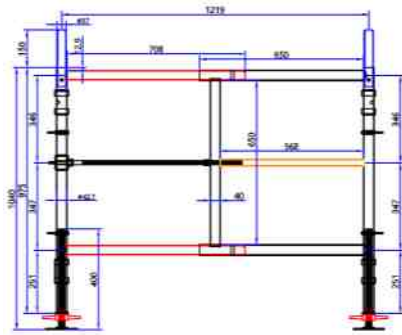
실물시험을 진행하기 전 구조해석을 통해 본 연구에서 진행하고자 하는 최적 모델 검토와 구조해석을 위해 건설분야 범용 구조해석 프로그램인 MIDAS GEN(2020 Ver, 마이더스 젠)을 사용하여 구조안전성을 검토하였다. 구조해석은 일반적으로 허용응력 설계법(ASD : Allowable Stress Design)에 따라 안전성 확보를 위해 탄성영역으로 검토하지만, 본 연구에서는 허용응력 설계법으로 설계하여 구조안전성을 확인한 다음 하중-저항계수 설계법(LRFD : Load and Resistance Factor Design)으로 극한하중까지 확인하여 성능설계(Performance-based Design)에 기반한 합리적인 안전율을 검토하였다. 구조해석을 위한 부재의 검토항목, 강종 및 제원은 <표 IV-1>과 같다.

〈표 IV-1〉 이동식 비계 구성요소별 검토항목, 강종 및 제원

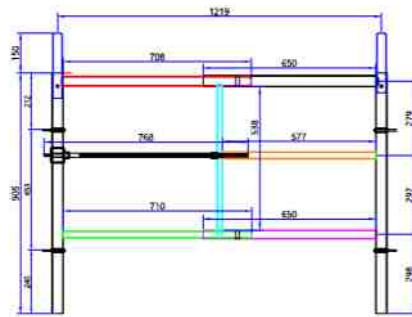
(단위 : mm)

구분	적용하중	검토항목	해석모델	강종	단면 크기
주틀	방호장치 안전인증 고시	압축 처짐	1,219×1,040 1,219×905	SGT275 (STK400)	연결고리 : 40×40×2T
				SGT355 (STK500)	수직재 : $\phi 42.7 \times 2.4T$
					수평보강재 : $\phi 27.2 \times 2.2T$
					횡가재(좌) : $\phi 37 \times 2.2 \sim 2.4T$
아웃트리거	방호장치 안전인증 고시	최대하중 수직처짐	687×720	SGT355 (STK500)	대각재 : $\phi 42.7 \times 2.4T$
				SGT275 (STK400)	보강재 : 20×40×2T 수평재 : $\phi 42.7 \times 2.4T$
길이조절형 수평재		휨 결합부 전단	1,728	SGT355 (STK500)	외관 : $\phi 42.7 \times 2.4T$ 내관 : $\phi 37 \times 2.4T$
선행안전난간대		처짐/휨	1,829	SGT275 (STK400)	보조수직재, 수평재 : $\phi 34 \times 2.3T$

구조해석을 위한 부재별 제작도는 [그림 IV-11]과 같다.

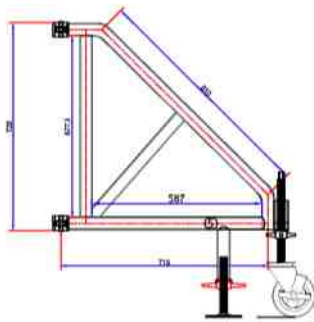


(A형)

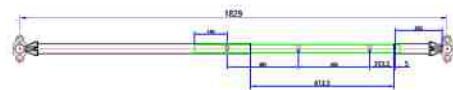


(C형)

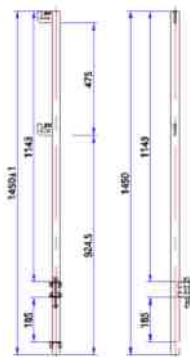
(가) 주틀



(나) 아웃트리거



(다) 길이조절형 수평재



(보조수직재)



(안전난간대)

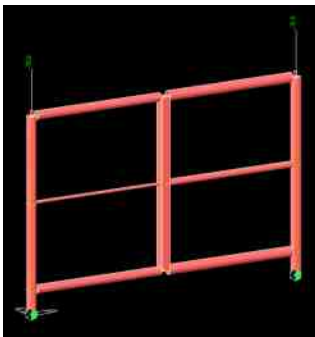
(라) 선행안전난간대

[그림 IV-11] 이동식 비계의 부재별 제작도

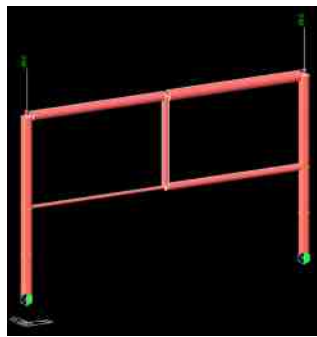
2) 구조해석 방법

(1) 주틀의 구조해석

- 상부와 하부의 횡가재는 겹침길이가 150mm 이상으로 하나의 부재로 본다.
- 주틀 모델링도의 중앙부 얇은 부재는 조절나사이며, 양단 힌지로 설정한다.
- 그 외에 접합부는 용접 접합으로 견고하게 접합되어 있다.
- 해석은 양쪽 기둥재에 압축(44kN 재하)과 중앙부 처짐(7.5kN 재하)을 해석한다.
- 서포트(연결 부위)는 각 기둥재 하단부에 힌지와 같은 Y축, Z축 고정단, X축 자유단으로 설정한다.



(A형)



(B형)

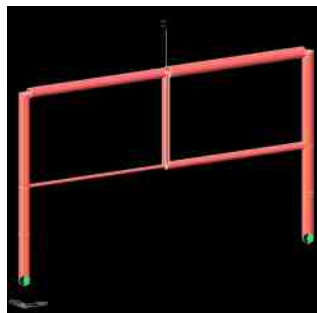


(C형)

[그림 IV-12] 이동식 비계 주틀의 압축 모델링도



(A형)



(B형)



(C형)

[그림 IV-13] 이동식 비계 주틀의 처짐 모델링도

(2) 아웃트리거의 구조해석

- 부재 전체는 용접 접합으로 설계한다.
- 아웃트리거와 주틀의 연결부위는 우측 상단과 우측 하단으로 두 지점 연결로 두었으며, X축과 Y축은 고정단, Z축은 자유단으로 설정한다.
- 보조수직재의 역할을 비교하기 위해 보조수직재를 제거하고 결과를 확인한다.
- 아웃트리거 해석은 처짐(4.9kN 재하)과 최대 수직하중(16kN 이상)을 확인한다.



(수직재 보강형)

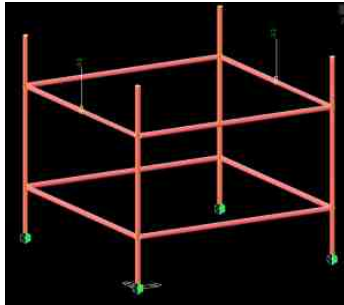


(수직재 제거형)

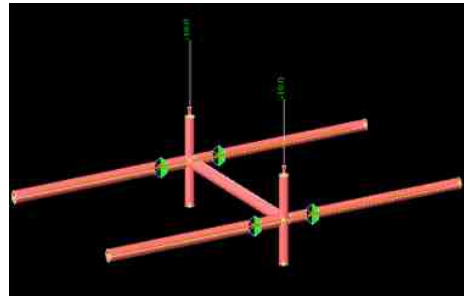
[그림 IV-14] 이동식 비계 아웃트리거 모델링도

(3) 길이조절 수평재 구조해석

- 겹침길이 150mm 이상으로 하나의 부재로 본다.
- 수직재와 수평재의 접합은 부재의 휨과 전단만을 보기 때문에 설계 상 용접 접합으로 한다.
- 중앙부 휨하중 연결부위는 X, Y, Z 고정으로 설계한다.
- 전단해석의 연결 부위는 수직재 기점으로 150mm 이격한 부분에서 Y축, Z축 고정단으로 하고 X축은 자유단으로 설계한다.
- 길이조절형 수평재의 휨해석은 수평재의 중앙에 6kN(3kN×2개소)을 재하하고, 전단해석은 수직재의 중앙에 24kN(12×2개소)을 재하하여 확인한다.



(휨해석)

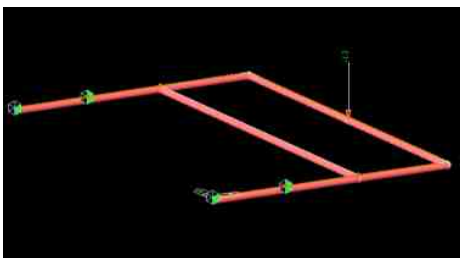


(전단해석)

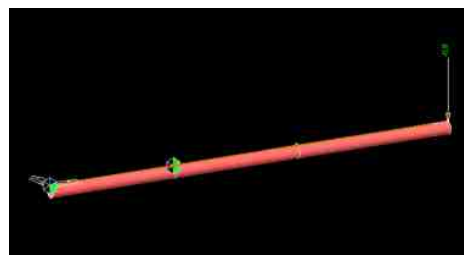
[그림 IV-15] 이동식 비계 길이조절용 수평재 모델링도

(4) 선행안전난간대 구조해석

- 모델링은 매달린 구조로 두어 연결부인 난간 기둥재의 끝단은 롤러와 같은 Z축만 고정단, X축 Y축은 자유단으로 설정하고 두 번째 연결부는 힌지와 같은 X축 자유단, Y축과 Z축은 고정단으로 설정한다.
- 해석은 처짐과 파괴유무를 본다.



(안전난간대)



(보조수직재)

[그림 IV-16] 이동식 비계 선행안전난간대 모델링도

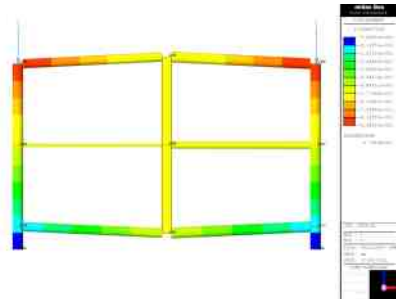
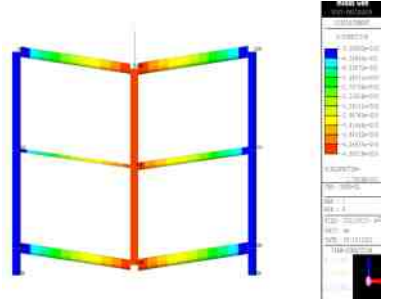
- 안전난간대의 구조해석 시 조립식 안전난간의 성능기준에 따라 처짐은 안전난간대의 중앙에 1.2kN, 휨강도는 1.6kN을 적용하였으나, 이동식 비계 난간틀의 성능기준은 0.3kN(≒30kgf)의 하중에 처짐량 100mm 이하로 규정하고 있어, 구조해석 결과에 대한 평가 시 처짐량은 100mm를 기준으로 하였다. 보조수직재의 구조해석은 난간틀의 성능기준에 따라 보조수직재의 끝단에 0.3kN(≒30kgf)의 하중 적용 시 처짐량을 분석하고, 1.6kN(≒160kgf)으로 재하 시 부재의 파괴 유무를 평가한다.

3) 구조해석 결과

(1) 주틀

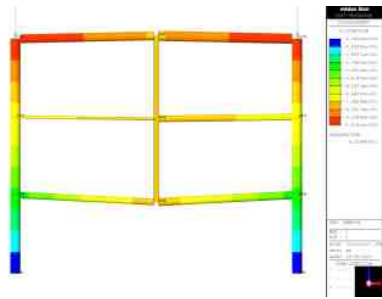
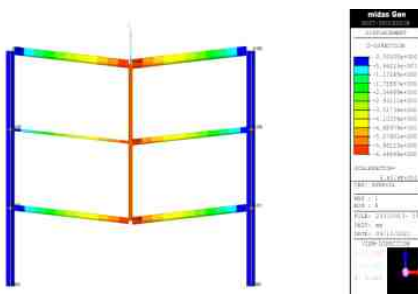
전반적으로 수직재 상단부에 힘이 집중되어 있고 하단부로 갈수록 받은 힘은 횡가재와 수평재로 분산되는 것으로 나타났다. 주틀 A형에 대한 구조해석 결과는 <표 IV-2>와 같다. 주틀 A형의 압축 해석에서 하중은 성능기준인 44kN 대비 3.18배의 성능을 보였고, 구조해석 상 좌굴에 의한 변형 및 파괴를 보인다. 이어서 중앙부 처짐해석에서는 7.5kN의 하중 재하 시 처짐량 4.695mm로 성능기준인 10mm대비 46.9% 수준으로 나타났으며, 해석 상 휨에 의한 변형 및 파괴를 보였다.

<표 IV-2> 주틀 A형의 구조해석 결과

모델명	구분	기둥재 압축 해석			중앙부 처짐 해석		
주틀 A형	모델링						
	결과값	항목	결과		항목	결과	
		하중 (기준 44kN)	140kN	O.K	하중	7.5kN	O.K
		세장비	57.4<200	O.K	처짐량 (기준 10mm)	4.695mm	O.K
		압축력	0.911<1	O.K	세장비	48.9<200	O.K
		휨력	0.033<1	O.K	축방향 압축력	0.073<1	O.K
		압축+휨력	0.941<1	O.K	휨력	0.841<1	O.K
		전단력	-	O.K	압축+휨력	0.878<1	O.K
					전단력	-	O.K

주틀 C형에 대한 구조해석 결과는 <표 IV-3>과 같다. 주틀 C형 압축해석에서 하중은 성능기준인 44kN에 비해 2.73배의 성능을 보였다. 이어서 중앙부 처짐 해석에서는 7.5kN의 하중 재하 시 처짐량 6.448mm로 성능기준인 10mm에 비해 64.5%의 수준으로 나타났고, 주틀 A형과 같은 변형 및 파괴 양상을 보였다.

<표 IV-3> 주틀 C형의 구조해석 결과

모델명	구분	기동재 압축 해석			중앙부 처짐 해석		
주틀 C형	모델링						
	결과값	항목	결과		항목	결과	
		하중 (기준 44kN)	120kN	O.K	하중	7.5kN	O.K
		세장비	75.7<200	O.K	처짐량 (기준 10mm)	6.448mm	O.K
		압축력	0.93<1	O.K	세장비	49.4<200	O.K
		힘력	-	O.K	축방향 압축력	0.034<1	O.K
		압축+힘력	0.946<1	O.K	힘력	0.963<1	O.K
		전단력	-	O.K	압축+힘력	0.98<1	O.K
					전단력	0.11<1	O.K

주틀 B형과 개선된 주틀 B형에 대한 구조해석 결과는 <표 IV-4>와 같다. 주틀 B형의 압축해석에서 최대하중은 성능기준인 44kN에 비해 3.64배의 성능을 보였다. 주틀 A형과 주틀 B형의 성능 비교에서 주틀 B형의 성능이 더 우수한 이유는 세장비가 작으므로 좌굴에 더 강하기 때문이다. 즉, 부재의 단면2차모멘트 대비 길이가 긴 부재는 좌굴 가능성이 크지만 길이가 짧은 부재는 좌굴 가능성을 줄일 수 있다. 이어서 중앙부 처짐해석에서는 7.5kN의 하중 재하 시 처짐량 9.283mm로 성능기준인 10mm에 부합하지만 하중 재하 시 탄성영역을 벗어나 부재의 휨파괴(변형)가 일어난다. 처짐해석에서 주틀 B형은 수평재가 3개에서 2개로 줄어든 이유로, 성능기준인 10mm에 도달하기 전 처짐 9.283mm에서 부재가 N.G(부재 변형 및 파괴)가 되어 10mm까지 처짐을 확인할 수 없었다. 이에 따라 주틀 B형의 수평재 하부에 가새로 보강한 개선된 주틀 B형에 대해 구조해석한 결과 성능기준을 만족하는 것으로 평가 되었으나, 주틀의 길이조절이 불가하여 활용성이 낮을 것으로 판단되어, 실물 시험 대상에서 제외하였다.

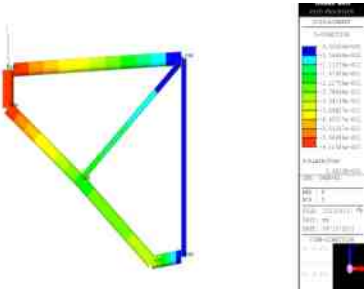
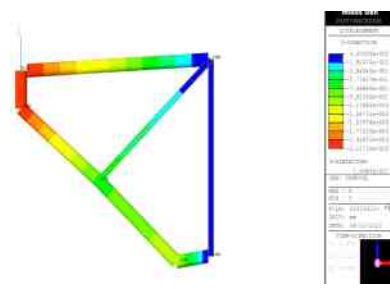
〈표 IV-4〉 주틀 B형과 개선된 주틀 B형의 구조해석 결과

모델명	구분	기동재 압축 해석			중양부 처짐 해석		
주틀 B형	모델링						
	결과값	항목	결과		항목	결과	
		하중 (기준 44kN)	160kN	O.K	하중	7.5kN	O.K
		세장비	50.4<200	O.K	처짐량 (기준 10mm)	9.283mm	O.K
		압축력	0.989<1	O.K	세장비	49.7<200	O.K
		힘력	-	O.K	축방향 압축력	0.049<1	O.K
		압축+힘력	0.992<1	O.K	힘력	1.338<1	N.G
		전단력	-	O.K	압축+힘력	1.363<1	N.G
개선된 주틀 B형	모델링						
	결과값	항목	결과		항목	결과	
		하중 (기준 44kN)	100kN	O.K	하중	7.5kN	O.K
		세장비	50.4<200	O.K	처짐량 (기준 10mm)	2.586mm	O.K
		압축력	0.617<1	O.K	세장비	49.7<200	O.K
		힘력	0.025<1	O.K	축방향 압축력	0.025<1	O.K
		압축+힘력	0.639<1	O.K	힘력	0.388<1	O.K
		전단력	-	O.K	압축+힘력	0.4<1	O.K
					전단력	0.045<1	O.K

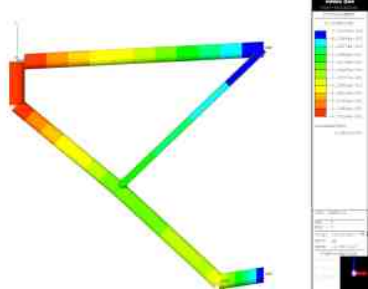
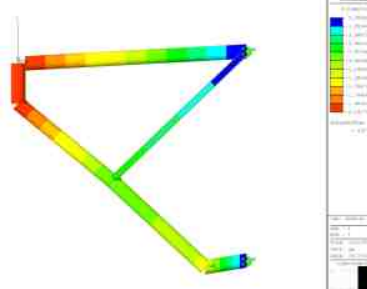
(2) 아웃트리거

수직재 보강형 아웃트리거의 구조해석 결과는 <표 IV-5>와 같으며, 처짐에 대한 하중(4.9kN)을 재하한 결과 처짐량 0.613mm으로 성능기준(10mm) 대비 6% 수준으로 나타났으며, 최대 하중(17kN)으로 재하한 결과 모든 부재는 방호장치 안전인증 고시기준 상의 요구성능을 만족하는 것으로 평가되었다. 아웃트리거의 경량화를 위해 부재의 단면 축소와 직경 변경을 검토하였으나, 『방호장치 안전인증 고시』 및 『한국산업표준』에서 규정하고 있는 기준을 준수하는 범위 내에서 수직재 제거 방안을 도출하였다. 이에 따라 수직재를 제거하여 구조해석한 결과는 <표 IV-6>과 같으며, 수직하중 15.4kN에서 부재가 파괴되는 것으로 나타나 기준(16kN)에 부합하지 않는 것으로 평가되어, 실물시험은 수직재 보강형만을 시험하는 것으로 결정하였다.

<표 IV-5> 수직재 보강형 아웃트리거의 구조해석 결과

부재명	구분	처짐		최대 하중	
수직재 보강형 아웃트 리거	모델링				
	결과값	항목	결과		
		하중	최대하중 : 16kN(기준) < 16.4kN		O.K
		세장비	53<200		O.K
		축방향 압축력	0.253<1		O.K
		휨력	0.812<1		O.K
		압축+휨력	0.974<1		O.K
		전단력	0.16<1		O.K
	처짐량 (4.9kN→기준 10mm)	0.613<10mm(기준)		O.K	

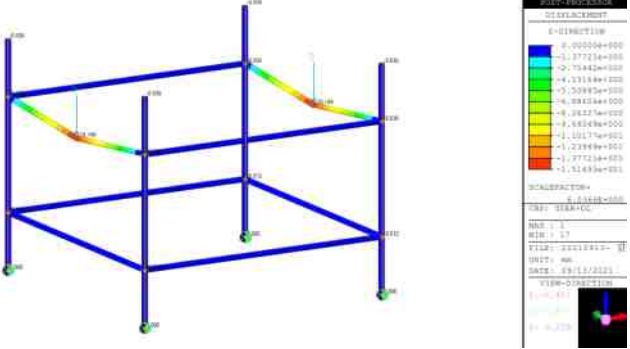
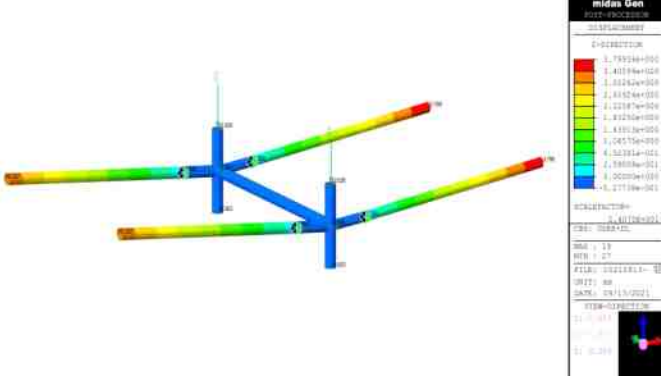
〈표 IV-6〉 수직재 제거형 아웃트리거의 구조해석 결과

부재명	구분	처짐		최대 하중	
수직재제거형 아웃트리거	모델링				
	결과값	항목	결과		
		하중	최대하중 : 15.4kN<16kN(기준)		N.G
		세장비	53<200		O.K
		축방향 압축력	0.241<1		O.K
		휨력	0.898<1		O.K
		압축+휨력	1.039>1		N.G
		전단력	0.173<1		O.K
		처짐량 (4.9kN→기준 10mm)	0.674<10mm(기준)		O.K

(3) 길이조절형 수평재

길이조절형 수평재의 휨 및 전단에 대한 구조해석 결과는 〈표 IV-7〉과 같다. 휨에 대한 구조해석을 위해 수평재의 중앙에 하중 각 3.2kN (총 6.4kN)을 재하한 결과 모든 부재가 기준에 충족하는 것으로 나타났다. 길이조절형 수평재의 전단해석은 내관(37mm)과 외관(42.7mm)으로 결합된 수평재의 불리한 조건으로 구조해석하였다. 하중 각 12kN (총 24kN)을 재하한 결과 기준에 만족하는 것으로 나타났다.

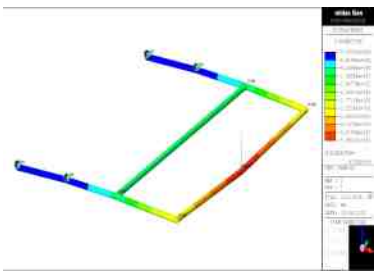
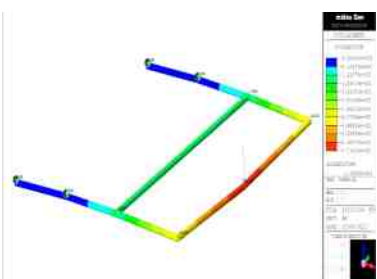
〈표 IV-7〉 길이조절형 수평재의 휨 및 전단 해석결과

모델명	구분	해석 결과		
길이조절형 수평재 휨해석	모델링			
	결과값	항목	결과	
		하중 (기준 6kN=3kN×2개소)	6.4kN	O.K
		세장비	74.6<200	O.K
		압축력	0.018<1	O.K
		휨력	0.924<1	O.K
		압축+휨력	0.933<1	O.K
		전단력	0.064<1	O.K
		처짐량	15.15mm	O.K
길이조절형 수평재 전단해석	모델링			
	결과값	항목	결과	
		하중 (기준 24kN=6kN×4개소)	24kN	O.K
		세장비	64.1<300	O.K
		압축력	-	O.K
		휨력	0.512<1	O.K
		압축+휨력	0.512<1	O.K
		전단력	0.172<1	O.K
		처짐량	0.528mm	O.K

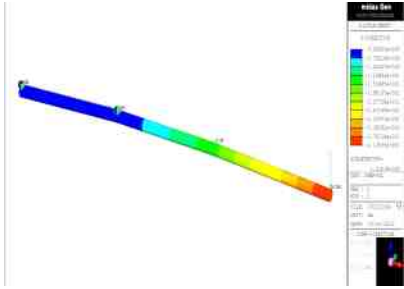
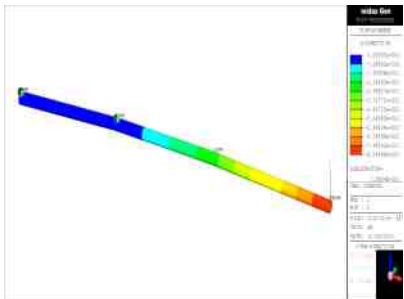
(4) 선행안전난간대

선행안전난간대의 수평재에 대한 구조해석 결과는 <표 IV-8>과 같다. 안전난간대 중앙부 처짐해석 결과 1.2kN(≒120kgf)의 수직 하중을 가했을 시 처짐은 50.814mm로 나타났다. 조립식 안전난간에 대한 처짐 기준은 50mm이나, 난간틀의 처짐기준은 0.3kN(≒30kgf)의 하중 재하 시 100mm로 규정하고 있어, 성능에 만족하는 것으로 평가되었다. 최대 하중인 1.6kN(≒160kgf)의 수직 하중을 재하했을 때 부재의 파괴가 일어나지 않아 기준에 충족하는 것으로 평가되었다. 선행안전난간대의 보조수직재에 대한 구조해석 결과는 <표 IV-9>와 같다. 보조수직재는 조립식 안전난간의 안전난간기둥에 대한 최대하중인 1.6kN에는 N.G이나, 처짐이 82.5mm이고, 난간틀 시험하중인 0.3kN에는 처짐이 41.4mm로 성능기준(처짐 50mm)을 충족하는 것으로 나타났다.

<표 IV-8> 안전난간대(수평재)의 구조해석 결과

모델명	구분	해석 결과		
		모델링	결과값	
안전난간대 (수평재)	처짐		항목	결과
			세장비	162.8<300 O.K
			축력	- O.K
			휨	0.613<1 O.K
			인장+휨	0.613<1 O.K
			전단력	0.028<1 O.K
			처짐량	50.8mm O.K
	파괴유무		항목	결과
			세장비	162.8<300 O.K
			축력	- O.K
			휨	0.814<1 O.K
			인장+휨	0.814<1 O.K
			전단력	0.037<1 O.K
			처짐량	67.1mm O.K

〈표 IV-9〉 보조수직재의 구조해석 결과

모델명	구분	해석 결과		
		모델링	결과값	
보조수직재	처짐		항목	결과
			세장비	111.2<300 O.K
			축력	- O.K
			휨	0.759<1 O.K
			인장+휨	0.759<1 O.K
			전단력	0.082<1 O.K
			처짐량	41.4mm O.K
	파괴유무		항목	결과
			세장비	111.2<300 O.K
			축력	- O.K
			휨	1.511>1 N.G
			인장+휨	1.511>1 N.G
			전단력	0.163<1 O.K
			처짐량	82.5mm O.K

3. 이동식 비계 실물 시험

1) 시험체

실물시험을 위한 시험체는 [그림 IV-17]과 같다. 주틀 B형은 구조해석 단계에서 보강재를 추가하거나 단면을 증대시켜야 함으로 본 연구에 경량화와 편리성(길이조절)에 부합하지 않아 제외하고 시험을 진행하였다. 구성요소별 단면크기는 <표 IV-1>과 같으나, 주요 구조부재 강관의 두께는 2.3mm를 적용하여 제작하였다.



(가) 주틀 A형 (중량 : 21kgf)



(나) 주틀 C형 (중량 : 14kgf)



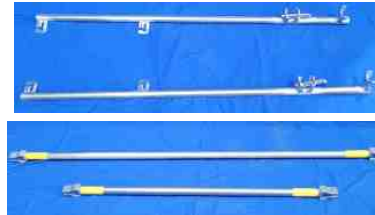
(다) 아웃트리거(중량 : 14kgf)



(라) 길이조절형 수평재(중량 : 5kgf)



(마) 선행안전난간대(중량 : 12kgf)



(바) 보조수직재(상부)+수평난간대(하부)

[그림 IV-17] 부재별 시험체 제작 사진 및 중량

2) 시험방법

방호장치 안전인증 고시 기준의 성능시험에서 규정된 하중을 적용하여 구조 해석한 결과에 따라 결정된 단면으로 시험체를 제작하였고, <표 IV-10>과 같이 구성요소별 안전인증 고시에서 규정된 시험방법에 따라 시험을 실시하여 구조 성능을 평가하였다.

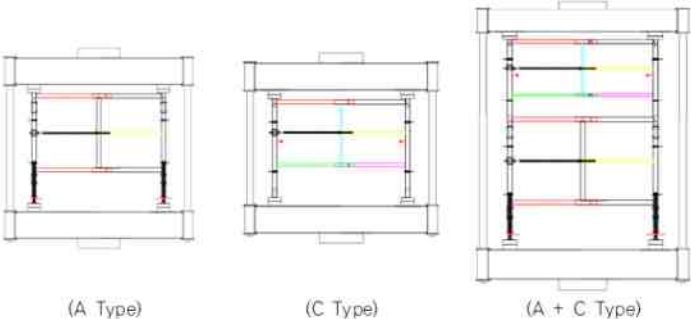
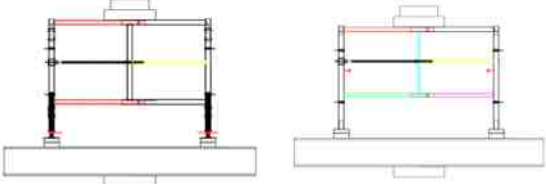
〈표 IV-10〉 이동식 비계 구성요소별 실물시험 요약표

시험대상		항목	성능기준	참조 규격
주틀 (A형, C형, A+C형)		압축강도	44kN 이상	방호장치 안전인증 고시 (2021)
		수직처짐	7.5kN일 때 10mm 이하	
아웃트리거		압축강도	16kN 이상	
		수직처짐	4.9kN일 때 10mm 이하	
길이조절형 수평재		휨강도	6kN 이상 (3kN×2개소) ※ 수평재 1.8m 이상인 경우	
		전단강도	24kN 이상 (6kN×4개소)	
선행안전난간대	보조수직재	수직 처짐	30kgf 추 매달기 (100mm 이하)	
		휨강도	100kgf 추 매달기 (파괴되지 않을 것)	
	난간체결부	체결부 강도	160kgf 추 매달기 (파괴되지 않을 것)	
	안전난간대	수직 처짐	120kgf 추 매달기 (50mm 이하)	
		휨강도	160kgf 추매달기 (파괴되지 않을 것)	

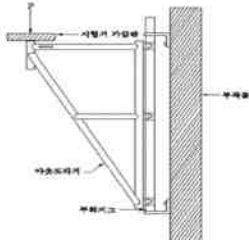
이동식 비계의 시험방법은 『방호장치 안전인증 고시(고용노동부 고시 제 2021-22호)』에서 규정하고 있으며, 해당 고시에서 정하지 않은 아웃트리거는

『한국산업표준 이동식 강관비계용 부재(KS F 8011)』에 따르도록 하고 있다. 시험방법에 대해서는 제2장 이동식 비계 관련 기준 고찰에서 기술하였다. 주틀, 아웃트리거 및 길이조절형 수평재 시험방법의 개요도는 <표 IV-11>~ <표 IV-13>과 같으며, 시험에 사용되는 지그는 방호장치 안전인증 고시 기준에 따라 제작하여 사용하였다.

<표 IV-11> 주틀 시험 개요

구분	개요도	비고
압축 강도	 (A Type) (C Type) (A + C Type)	44kN이상
수직 처짐	 (A Type) (C Type)	7.5kN → 10mm이하

<표 IV-12> 아웃트리거의 시험 개요

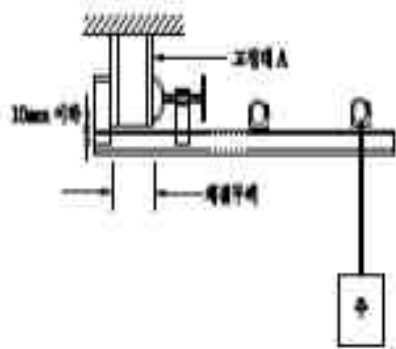
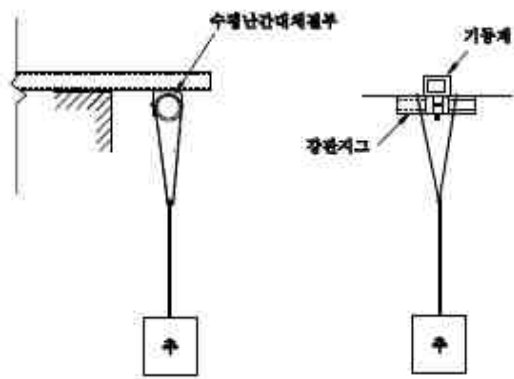
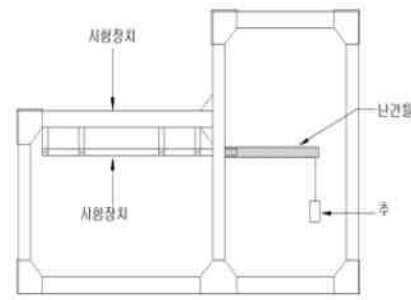
구분	개요도	비고
수직처짐 압축강도		처짐 : 4.9kN → 10mm이하 압축 : 16kN

〈표 IV-13〉 길이조절형 수평재의 시험 개요

구분	개요도	비고
휨강도		6kN 이상 (3kN×2개소) ※ 수평재 길이가 1.8m 이상인 경우
전단강도		24kN 이상 (6kN×4개소)

선행안전난간대의 성능기준은 처짐과 휨강도(최대 하중)으로 구분되며, 〈표 IV-14〉와 같다. 보조수직재의 성능시험은 보조수직재의 끝단에 30kgf의 추를 매달아 처짐을 측정하고, 100kgf의 추를 매달아 파괴유무를 육안으로 확인하였다. 안전난간대의 성능시험은 시험장치(전용 지그)에 설치한 후 안전난간대의 중앙에 120kgf의 인 추를 매달아 처짐을 측정하고, 160kgf의 추를 매달아 파괴유무를 확인하였다. 마지막으로 수평난간대의 체결부 강도시험은 보조수직재와 난간대의 체결부에 근접하여 160kgf의 추를 매달아 파괴 유무를 확인하였다.

〈표 IV-14〉 이동식 비계의 선행안전난간대 시험 개요

구분	개요도	비고
보조수직재 수직처짐 및 휨강도		·처짐 : 30kgf의 추 ·휨 : 100kgf의 추
난간대 체결부 강도		·체결부 : 160kgf의 추
안전난간대 수직처짐 및 휨강도		·처짐 : 120kgf의 추 ·휨 : 160kgf의 추

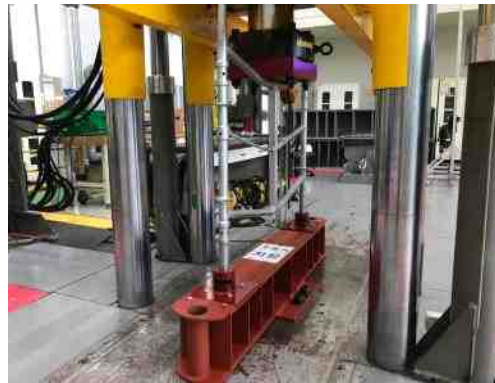
3) 시험결과

(1) 주틀 A형과 C형 처짐 시험

주틀 A형과 C형의 처짐 시험은 <그림 IV-18>과 같이 실시하였으며, 시험 결과는 [그림 IV-19] 및 <표 IV-15>와 같다. 주틀 A형의 처짐 시험결과 (7.5kN, 3회 평균) 성능기준(10mm) 대비 54.8% 수준으로 나타났다. 주틀 C형의 처짐 시험결과(7.5kN, 3회 평균) 성능기준(10mm) 대비 86% 수준으로 분석되어, 성능기준을 모두 만족하는 것으로 평가되었다.



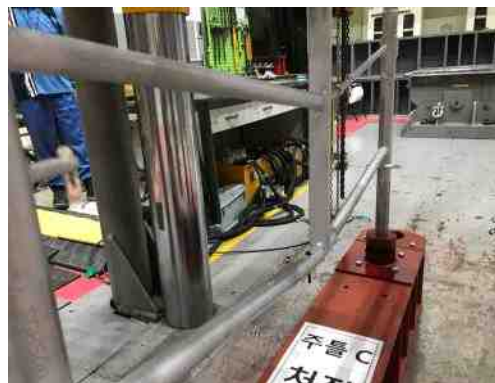
(A형 시험 전)



(A형 시험 후)

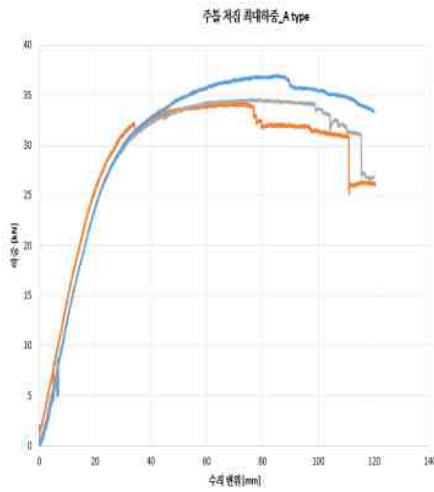


(C형 시험 전)

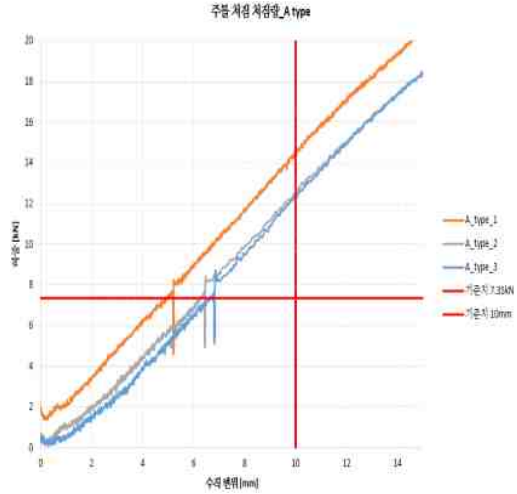


(C형 시험 후)

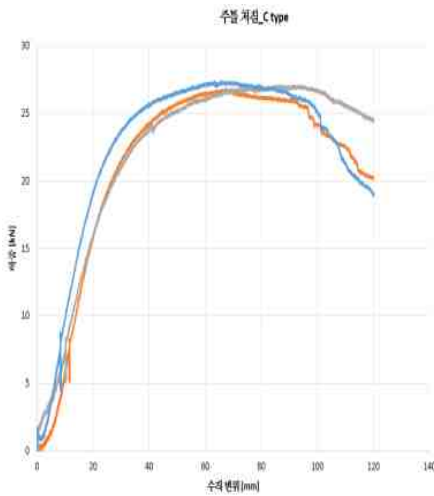
[그림 IV-18] 주틀 A형과 C형의 처짐 시험



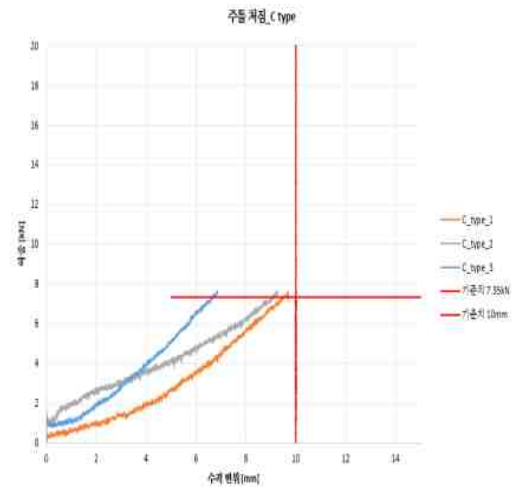
(A형의 하중-변위 전체 곡선)



(A형의 하중-변위 상세 곡선)



(C형의 하중-변위 전체 곡선)



(C형의 하중-변위 상세 곡선)

[그림 IV-19] 주철 A형과 C형의 하중-변위 곡선



(시험 전)



(시험 후)

[그림 IV-21] 주틀 C형 압축강도시험



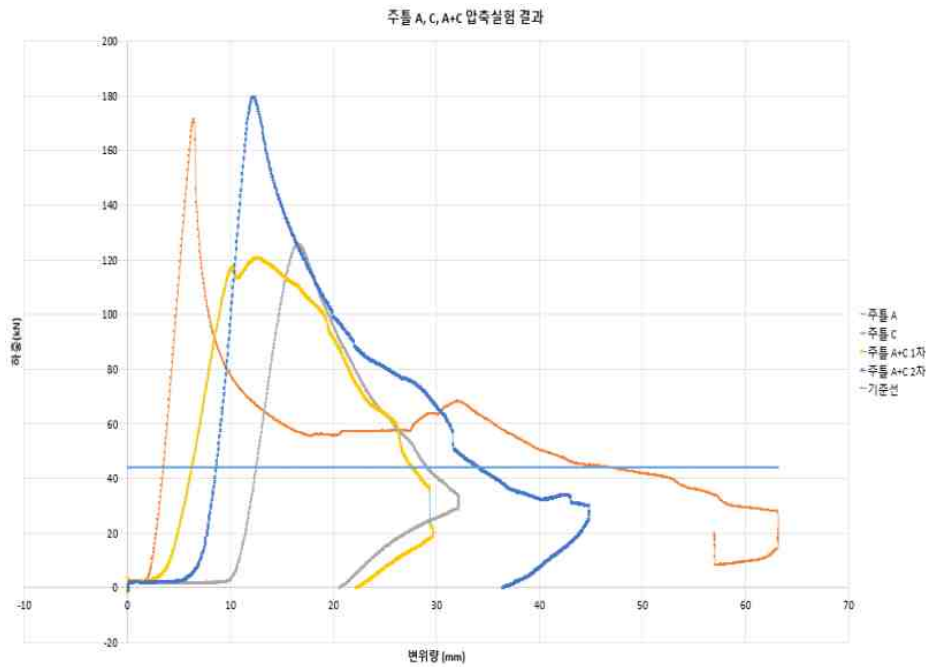
(시험 전)



(시험 후)

[그림 IV-22] 주틀 A+C형 압축강도시험

실제 시험에서 주틀 A형이 주틀 C형 보다 최대하중이 다소 작은 이유는 주틀의 수직재에 아웃트리거가 부착될 수 있도록 홈을 설치했기 때문에 단면손실에 따른 응력집중이 원인으로 판단된다.



[그림 IV-23] 주틀 A형, C형 및 A+C형의 압축강도시험 하중-변위 곡선

〈표 IV-16〉 주틀 A형, C형 및 A+C형 압축강도시험 결과

(단위 : kN)

시험체	시험방법	시험성능 기준	1차	2차	3차	평균	평가 결과
주틀 A형		압축강도 44kN 이상	171.48	-	-	171.48	적합
주틀 C형			179.6	-	-	179.6	적합
주틀 A+C형			125.79	120.73	-	123.26	적합

(3) 아웃트리거 처짐 및 압축강도시험

아웃트리거의 처짐 및 압축강도시험 결과는 [그림 IV-26] 및 <표 IV-17>과 같다. 1차 시험 중 아웃트리거 고정용 지그의 변형으로 인해 정확한 처짐값과 압축강도(최대하중)를 산출할 수 없어 같은 방법과 조건으로 하되 상부는 볼트 접합, 하부는 자유단으로 두고 시험을 실시하였다. 이는 부착철물과 관계없이 아웃트리거의 순수 처짐과 압축강도(최대하중)를 확인할 수 있다. 이에 따라 [그림 IV-24]~[그림 IV-25]와 같이 시험 시에는 아웃트리거의 순수 처짐과 압축강도를 확인하기 위해 위치를 변경하여 시험한 결과 아웃트리거의 압축강도(최대하중)는 62.14kN(3회 평균)으로 성능기준(16kN) 대비 3.9배로 나타났고, 처짐은 3.1mm로 성능기준(10mm 이하) 대비 31% 수준으로 분석되어 성능기준을 모두 충족하는 것으로 평가되었다.



[그림 IV-24] 아웃트리거 발바퀴의 받침철물 위치 변경

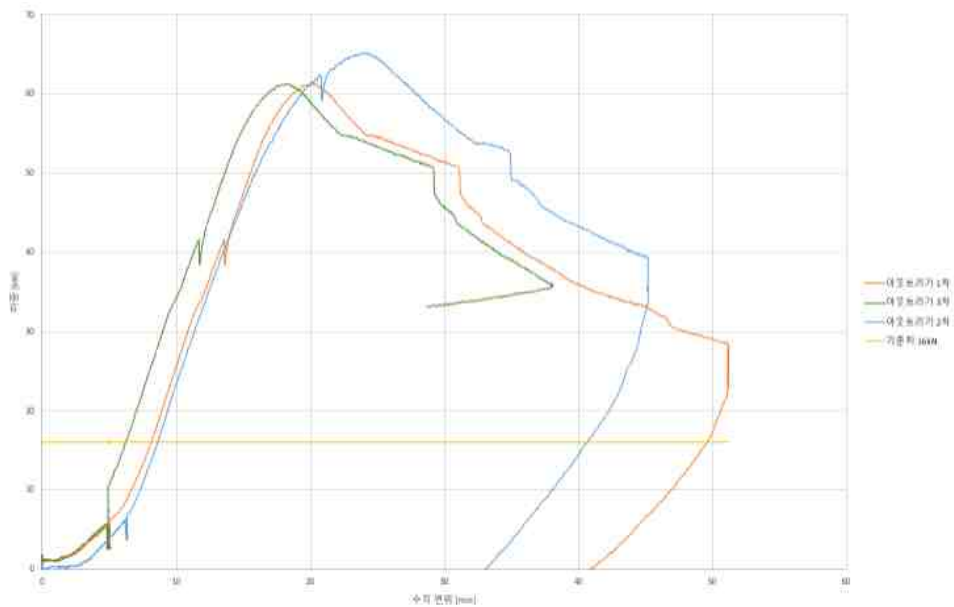


(시험 전)

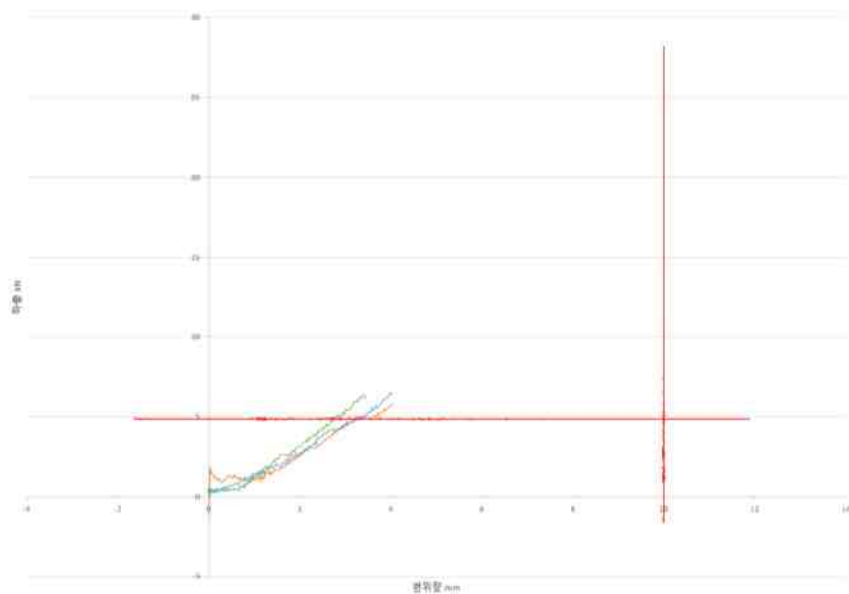


(시험 후)

[그림 IV-25] 아웃트리거의 처짐 및 압축강도시험



(하중-변위 전체 곡선)

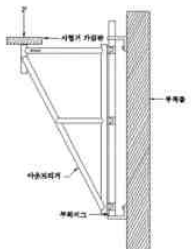


(하중-변위 상세 곡선)

[그림 IV-26] 아웃트리거의 처짐 및 압축강도시험 하중-변위 곡선

〈표 IV-17〉 아웃트리거 처짐 및 압축강도시험 결과

(단위 : mm, kN)

시험체	시험방법	시험성능 기준	1차	2차	3차	평균	평가결과
아웃트리거		처짐 10mm이하	3.21	2.80	3.29	3.10	적합
		압축강도 (최대하중) 16kN 이상	61.37	65.15	59.91	62.14	적합

(5) 길이조절형 수평재 전단 및 휨시험

길이조절형 수평재의 전단 및 휨시험 결과는 [그림 IV-28] 및 〈표 IV-18〉과 같다. 길이조절형 수평재의 전단시험은 [그림 IV-27]과 같이 실시하였다. 전단 시험 결과, 최대하중(3회 평균)은 27.83kN으로 나타나, 성능기준($6\text{kN} \times 4\text{개소} = 24\text{kN}$)을 충족하는 것으로 분석되었다.

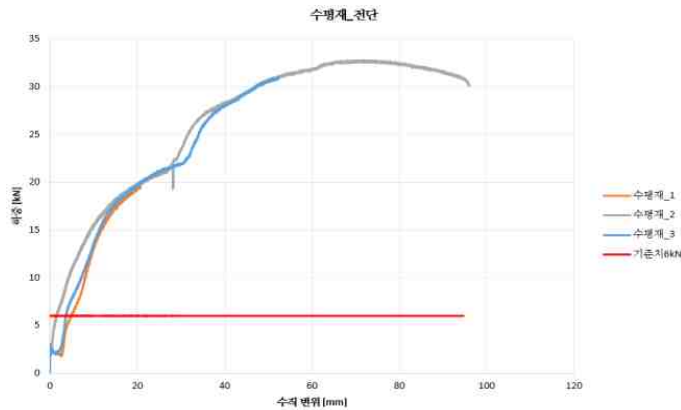


(시험 전)



(시험 후)

[그림 IV-27] 길이조절형 수평재 전단시험



[그림 IV-28] 길이조절형 수평재 전단시험의 하중-변위 곡선

길이조절형 수평재의 휨시험은 [그림 IV-29]과 같이 실시하였으며, 시험결과는 [그림 IV-30] 및 <표 IV-18>과 같다. 처짐량이 200mm 이상부터는 수평재에 힘을 받지 않고 주틀이 안으로 말려들어가는 현상을 보여 처짐은 최대 200mm로 제한하였다. 휨시험 결과, 최대하중(3회 평균)은 13.47kN으로 나타나, 성능기준($3\text{kN} \times 2\text{개} = 6\text{kN}$)을 충족하는 것으로 분석되었다.



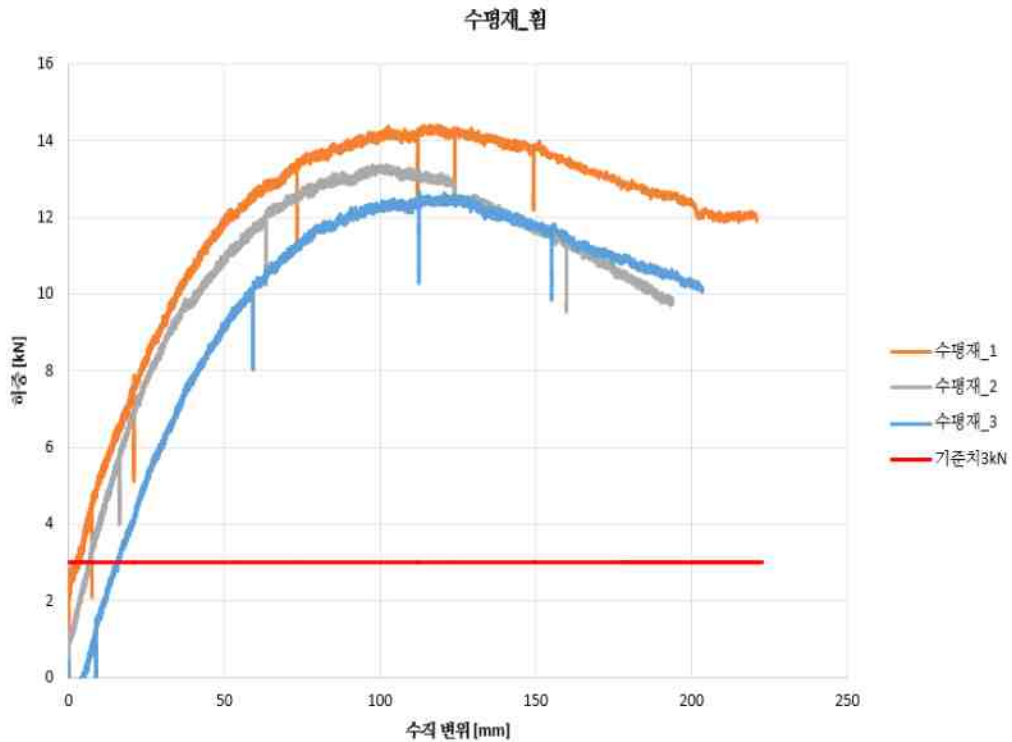
(시험전)



(시험후)



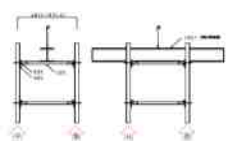
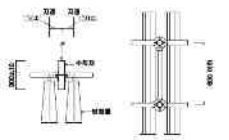
[그림 IV-29] 길이조절형 수평재 휨시험



[그림 IV-30] 길이조절형 수평재 휨시험의 하중-변위 곡선

〈표 IV-18〉 길이조절형 수평재의 휨 및 전단시험 결과

(단위 : kN)

구분	시험방법	성능 기준	1차	2차	3차	평균	평가 결과
휨시험		6kN (3kN×2개 =6kN)	14.4	13.36	12.65	13.47	적합
전단시험		24kN (6kN×4개 소=24kN)	19.7	32.79	31.01	27.83	적합

(6) 선행안전난간대 처짐 및 휨강도 시험

선행안전난간대 시험결과는 <표 IV-19>와 같다. 선행안전난간대의 보조수직재는 이동식 비계 난간틀 시험의 성능기준을 적용하였으며, 처짐량은 30.04mm(3회 평균)로 성능기준(100mm이하)을 충족하였고, 휨강도 시험(100kgf) 시 5~10분간 지속 시에도 파괴되지 않아 기준에 만족하는 것으로 평가되었다. 안전난간대 체결부는 조립식 안전난간 시험기준(160kgf)을 적용한 결과 파괴되지 않아 성능기준에 적합하였다. 안전난간대(수평난간대)의 처짐 시험(120kgf) 결과 26.1mm로 성능기준(50mm)을 만족하였으며, 휨강도 시험(160kgf) 결과 파괴되지 않아 성능기준에 적합한 것으로 분석되었다. 선행안전난간대는 내측에서 외측방향의 수평하중에는 저항할 수 있지만, 반대 방향의 하중에는 구조적으로 취약할 수 있어, 보조수직재는 주틀의 수직재에 2개소 이상 연결하는 방법으로 개선이 필요한 것으로 분석되었다.

<표 IV-19> 선행안전난간대의 처짐 및 휨강도 시험 결과

(단위 : mm)

구분	시험 방법	성능기준	1차	2차	3차	평균	평가결과
안전난간 보조 수직재	처짐 (30kgf)	100mm이하	31.44	30.28	28.4	30.04	적합
	휨강도 (100kgf)	파괴되지 않을 것	111.6 파괴되지 않음	76.04 파괴되지 않음	78.42 파괴되지 않음	88.68	적합
안전난간대 (수평난간대)	처짐 (120kgf)	50mm이하	26.2	25.98	26.14	26.1	적합
	휨강도 (160kgf)	파괴되지 않을 것	38.86 파괴되지 않음	35.74 파괴되지 않음	36.58 파괴되지 않음	37.06	적합
수평난간대 체결부	강도 (160kgf)	파괴되지 않을 것	파괴되지 않음	파괴되지 않음	파괴되지 않음	파괴되지 않음	적합

4. 이동식 비계의 현장 적용성 개선 모델(안)

1) 현장 적용성 개선 모델 개요

이동식 비계의 중대재해 및 현장 실태조사 분석결과를 토대로 개선모델(선행 안전난간을 적용한 이동식 비계)을 도출하였다. 개선 모델의 구조해석결과 구조적으로 안전한 것으로 분석되었고, 시제품을 제작하여 실물시험을 통해 구조안전성을 검증하였다. 이에 따라 제작된 이동식 비계 시제품을 설치한 모습은 [그림 IV-31]과 같다.



(가) 주틀 A형(0.5단≒1m)



(나) 주틀 A형+C형+C형(1.5단≒3m)



(다) 선행안전난간대 설치 모습



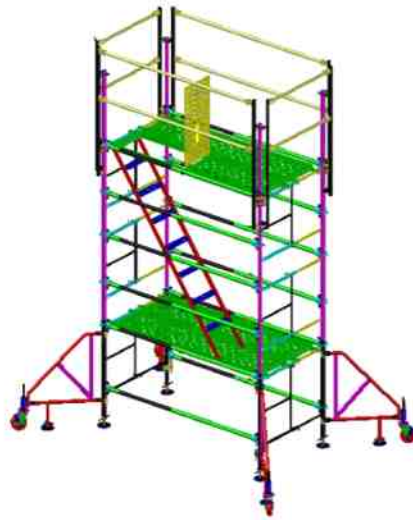
(라) 바퀴부착형 아웃트리거 설치 모습

[그림 IV-31] 개선된 이동식 비계 설치 모습

이동식 비계의 구조해석, 실물시험, 시제품 조립과정, 이동모습 등의 동영상에 대해 전문가²⁾ 회의(2021. 10. 19.)를 실시한 결과, 주요 내용은 다음과 같다.

주틀과 수평재가 길이 조절이 가능하여 좁은 공간을 통과하거나 협소한 장소에서도 작업을 수행할 수 있어 기존의 이동식 비계보다 활용성이 높을 것으로 평가되었다. 아웃트리거에 바퀴가 부착되어 있어, 전도 위험성이 획기적으로 감소될 것으로 예상되며, 안전난간의 경우 선행안전난간대를 적용하여 추락위험을 근본적으로 개선한 것으로 평가되었다. 다만, 현행 방호장치 안전인증 고시의 기준에 따라 기존 이동식 비계와 규격이 유사하여 경량화에는 한계가 있으며, 현장 적용성 개선 모델 제안 시 현장의 여건을 고려하여 작업 발판(400mm) 2열 설치가 가능하도록 하여 현장에서 보유하고 있는 작업 발판을 활용 한다면 현장 적용성이 높을 것이라는 의견이 있었다. 전문가 회의 결과에 따라 개선된 이동식 비계의 현장 적용성 향상을 위해 건설현장 관계자(5명)를 대상으로 유선 인터뷰를 실시하여 의견을 수렴한 결과 이동식 비계의 주틀 폭은 600~914mm, 수평재 길이는 1,524mm를 기본으로 하되, 이동식 비계가 전도 위험이 있을 경우 주틀을 횡방향으로 추가 설치하면 전도에 대한 안전율을 확보할 수 있을 것으로 판단된다. 또한, 기존 시스템 비계의 선행안전난간대는 수직재의 플랜지에 2개소가 결합되어 가장 취약한 방향의 횡력에도 저항할 수 있는 구조이나, 이동식 비계 선행안전난간대의 보조수직재는 주틀의 1개소에만 결합되고, 1개소는 지지되는 구조로 내측에서 외측 방향의 횡력에는 저항하지만 외측에서 내측방향의 횡력에는 취약한 구조로 판단되어, 보조수직재는 주틀의 2개소에서 결합하는 구조로 개선하였다. 이를 고려한 이동식 비계 설치 모델은 [그림 IV-32]와 같다(한국산업안전보건공단, 2021).

2) 구조기술사 2명, 건설안전전문가 1명, 현장관계자 2명, 안전인증전문가 1명



* 출처 : 국내 특허출원 제10-2021-0176381, 제10-2021-0176383

[그림 IV-32] 개선된 이동식 비계 모델 최종(안) [600~914mm×1,524mm, 높이 약 3m]

개선된 이동식 비계 모델 최종(안)의 또 다른 특징은 기존 이동식 비계 사용 시 주틀의 외부 사다리를 이용하여 승강 중 추락하는 사례가 있었으나, 상기 모델은 개폐형 작업발판을 사용하여 이동식 비계 내측 계단이나, 계단형 사다리를 이용하도록 하여 추락하더라도 추락높이를 줄여주므로 추락에 따른 부상의 위험을 최소화할 수 있다.

2) 현장 적용성 개선 모델 실물시험

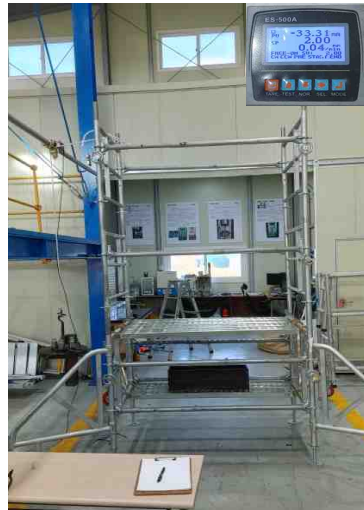
현장 적용성 개선 모델의 구조안전성 확인을 위해 이동식 비계를 조립(A형+C형+C형)하여 2중(강성, 압축강도)의 실물시험을 실시하였다. 실물시험에 사용된 부재는 개별 실물시험을 통해 구조안전성이 확인된 제품을 사용하였다. 이동식 비계 조립체는 914×1,524×3,000mm로 주틀 A형+C형+C형을 조립하였다. 실물시험은 다음과 같이 실시하였다.

(1) 조립체 강성시험

EN 규격에서 규정하고 있는 강성시험은 6m 높이의 조립체에 500N의 수평 하중 적용 시 X방향과 Y방향의 누적 변위를 200mm로 규정하고 있다. 동 규정에서 타워형 비계(이동식 비계)의 높이와 변위의 관계식은 구조계산 및 실물 시험결과에 따라 선형공식을 적용할 수 있도록 하고 있다. 따라서 조립체의 실제 사용 높이를 고려하여 [그림 IV-33]과 같이 높이 3m의 조립체에 500N($\approx 50\text{kgf}$)의 수평하중 적용 시 누적 허용변위는 선형관계식을 적용하여 100mm 이내로 설정하였고, X방향과 Y방향의 누적변위를 측정한 후 기준변위(높이 3m일 때 최대 변위 100mm)에 적합한지를 평가하였다.



(가) X방향 강성시험(수평하중 500N)



(나) Y방향 강성시험(수평하중 500N)

[그림 IV-33] 이동식 비계 조립체 강성시험(X방향 및 Y방향)

수평하중 500N을 적용하기 위해 섬유로프와 도르래 및 무게추(50kgf)를 사용하였으며, 변위측정은 수평변위계를 사용하였다. 이동식 비계의 강성시험 결과 X방향 변위는 26.70mm, Y방향 변위는 33.31mm로 측정되어, 누적변위는 60.01mm로 나타나 기준치 100mm의 60% 수준으로 나타나 기준에 적합한 것으로 평가되었다.

(2) 조립체 압축강도시험

이동식 비계의 개별 부재에 대한 최대압축하중은 제4장에서 평가한 결과 적정한 것으로 분석되었으나, 실제 건설현장에서 사용하는 조립체의 최대압축하중을 파악하여 현행 한국산업표준과 방호장치 안전인증 고시에서 규정하고 있는 개별부재의 압축성능 수준을 분석할 필요가 있다. 이를 위해 이동식 비계의 조립체는 주철 A형 1조와 C형 2조를 결합하여 $914 \times 1,524 \times 3,000\text{mm}$ 의 조립체로 만들어 압축시험을 실시하였다. 시험결과 최대압축하중은 177kN으로 나타나, 이동식 비계의 설계하중 대비 압축성능이 과도한 것으로 분석되었다. 이는 개선된 이동식 비계 설계 시 KS규격과 방호장치 안전인증 고시에서 규정하고 있는 규격과 성능을 고려하여 제작되었기 때문이며, 이로 인해 경량화에는 한계가 있었다. 따라서 현행 부재별 안전인증 기준을 실제 사용조건에 맞도록 조립체에 대한 안전인증(성능 등) 기준으로 개정할 필요가 있으며, 이동식 비계의 경량화를 위해서는 고강도강이나, 알루미늄 등 다양한 재료를 사용할 수 있도록 관련 기준을 개정할 필요가 있다.



(시험 전)



(시험 후)

[그림 IV-34] 이동식 비계 조립체 압축강도시험

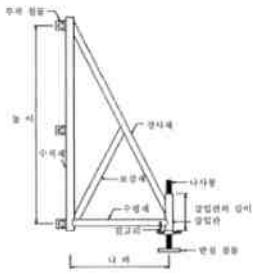
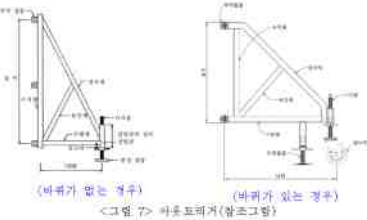
3) 이동식 비계 설치 및 사용안전 기술지침 개정(안)

국내·외 이동식 비계 안전기준 고찰, 중대재해 분석, 설문조사 및 인터뷰를 통해 도출된 문제점과 개선된 이동식 비계 모델(안) 및 전문가 의견을 반영하여 KOSHA GUIDE C-28-2018(이동식 비계 설치 및 사용안전 기술지침 개정(안)을 <표 VI-20>과 같이 제시하였다. 이를 반영한 『이동식 비계 설치 및 사용안전 기술지침』 개정(안)은 부록 2와 같이 제안하였다.

〈표 IV-20〉 이동식 비계 설치 및 사용안전 기술지침 개정(안) 변경 내용

구분	현행	개정(안)	비고
3. 용어의 정의	(1) 이 지침에서 사용하는 용어의 정의는 다음과 같다. (신설)	(1) 이 지침에서 사용하는 용어의 정의는 다음과 같다. (마) “ 선행안전난간대 ”란 하부의 작업발판에서 상부 작업발판 단부에 미리 설치할 수 있는 안전난간대를 말한다.	
4. 재료	(1) 이동식 비계의 주틀(이하 “주틀”이라 한다), 발바퀴, 이동식 비계용 난간틀(이하 “난간틀”이라 한다), 교차가새, 작업대(이하 “작업발판”이라 한다), 이동식 비계용 아웃트리거(이하 “아웃트리거”라 한다)의 각부분에 사용하는 재료는 안전인증고시 또는 「산업표준화법」에 따른 한국산업표준에서 정하는 기준에서 정하는 기준 등에 적합하거나 동등 이상의 성능을 가진 재료를 사용하여야 한다. (2) 주틀 및 발바퀴의 각부는 현저한 손상, 변형, 부식 또는 마모가 없는 것이어야 한다.	(1) 이동식 비계의 주틀(이하 “주틀”이라 한다), 발바퀴, 이동식 비계용 난간틀 또는 선행안전난간대 , 교차가새, 작업대(이하 “작업발판”이라 한다), 이동식 비계용 아웃트리거(이하 “아웃트리거”라 한다)의 각부분에 사용하는 재료는 안전인증고시 또는 「산업표준화법」에 따른 한국산업표준에서 정하는 기준에서 정하는 기준 등에 적합하거나 동등 이상의 성능을 가진 재료를 사용하여야 한다. (2) 주틀 및 발바퀴 등의 모든 부재 는 현저한 손상, 변형, 부식 또는 마모가 없는 것이어야 한다.	

〈표 IV-20〉 이동식 비계 설치 및 사용안전 기술지침 개정(안) 변경 내용(계속)

구분	현행	개정(안)	비고
5. 구조	(3) 난간틀은 〈그림 4〉와 같이 발끝막이판, 지주재, 난간재, 가새재 및 설치용 철물 등으로 구성되며 안전인증고시 또는 한국산업표준(KS F 8011)에서 정하는 기준에 따른다. (6) 이동식 비계용 아웃트리거는 ~ (이하생략)  〈그림 7〉 아웃트리거(참조그림) (7) (신설)	(3) 난간틀(또는 선행안전난간대)은 〈그림 4〉와 같이 발끝막이판, 지주재, 난간재, 가새재 및 설치용 철물 등으로 구성되며 안전인증고시 또는 한국산업표준(KS F 8011)에서 정하는 기준에 따른다. (6) 이동식 비계용 아웃트리거는 ~ (이하생략) ~  〈그림 7〉 아웃트리거(참조그림) (7) 주틀 및 발바퀴 등의 부재에 대한 국내 기준이 없는 경우 국제기준(ISO/IEC), 유럽기준(EN) 등에서 정하는 기준에 따라야 하며, 구조분야 전문자격을 갖춘 기술자로부터 구조안전성을 검토받은 후 사용하여야 한다.	
8. 사용상의 주의사항	(8) 주틀 외부에 승강로가 설치된 이동식 비계에서는 전도를 방지하기 위하여 같은 면으로 동시에 2인 이상이 승강하지 않아야 한다. (9) 근로자가 탑승한 상태에서 이동식 비계를 이동시키지 말아야 한다.	(8) 주틀에 승강로가 설치된 이동식 비계에는 승강 중 추락 및 전도방지를 위해 주틀 내부에 가설계단을 설치하여 사용하거나, 내부에서 주틀의 승강로(사다리)를 이용하여 승강하도록 한다. 다만, 현장 여건 상 부득이하게 주틀의 외부 승강로를 이용하여 승강할 경우 이동식 비계의 전도방지를 위해 같은 면으로 동시에 2인 이상이 승강하지 않아야 한다. (9) 이동식 비계에 중량물이 적재된 상태 또는 근로자가 탑승한 상태에서 이동식 비계를 이동시키지 말아야 하며, 이동 시에도 아웃트리거가 유효하게 작동하도록 하는 등 전도되지 않도록 하여야 한다.	

5. 소결

이동식 비계 개선모델의 구조해석 결과, 주틀의 압축해석에서는 성능기준(44kN) 대비 A형(140kN) 3.2배, B형(160kN) 3.6배, C형(120kN) 2.7배의 성능을 보였고, 처짐해석 결과 A형(4.7mm)과 C형(6.5mm)은 성능기준(7.5kN, 10mm)을 충족하였으나, B형은 탄성영역을 벗어나, 허용응력을 초과하였다. B형은 A형과 C형에 비해 수평재가 1개소 적어 처짐에 취약한 것으로 판단된다. 아웃트리거의 처짐해석결과 수직재 보강형(0.6mm)과 수직재 제거형(0.7mm)은 성능기준(4.9kN, 10mm)을 모두 충족하였다. 아웃트리거의 최대 하중 해석에서는 성능기준(16kN) 대비 수직재 보강형(16.4kN)은 기준에 충족하였으나, 수직재 제거형(15.4kN)은 성능기준(16kN) 적합하지 않았다. 길이 조절형 수평재의 휨해석 결과 6.4kN으로 성능기준($6\text{kN}=3\text{kN}\times 2\text{개소}$)을 만족하였고, 전단해석 결과 24kN으로 성능기준($24\text{kN}=6\text{kN}\times 4\text{개소}$)을 충족하는 것으로 평가되었다. 선행안전난간대의 구조해석 결과 난간틀의 휨강도(100kgf)와 처짐기준(30kgf, 100mm)에 모두 만족하는 것으로 평가되었다. 이동식 비계 개선모델의 실물시험 결과, 주틀의 처짐시험은 A형 5.5mm(3회 평균), C형 8.6mm(3회 평균)로 성능기준(10mm)을 모두 만족하는 것으로 나타났고, 주틀의 압축강도시험은 A형 171.48kN(1회), C형 179.6kN(1회), A+C형 123.26kN(2회 평균)으로 성능기준(44kN)을 모두 충족하는 것으로 분석되었다. 아웃트리거의 처짐시험 결과, 3.1mm(3회 평균)로 성능기준(10mm)에 적합하였으며, 최대 하중은 62.14kN(3회 평균)으로 성능기준(16kN) 대비 3.9배로 나타났다.

길이조절형 수평재의 휨시험 결과 13.47kN으로 성능기준($6\text{kN}=3\text{kN}\times 2\text{개}$)을 만족하였고, 전단 시험 결과 27.83kN(3회 평균)으로 성능기준($24\text{kN}=6\text{kN}\times 4\text{개}$)을 충족하는 것으로 평가되었다. 선행안전난간대는 보조수직재와 수평난간대로 구분하여 처짐 및 강도시험을 실시한 결과 성능기준(30kgf에서 처짐 100mm 이하, 휨강도 100kgf)을 모두 만족하는 것으로 평가되었다.

개선된 이동식 비계 조립체($914 \times 1,524 \times 3,000\text{mm}$)의 EN 기준에 따른 성능 평가를 위해 강성시험과 최대압축시험을 실시한 결과, 강성시험(수평하중 500N)의 누적변위는 60.01mm로 기준치(높이 3m 기준, 누적변위 100mm)의 60% 수준으로 나타났으며, 최대압축하중은 177kN으로 요구 성능을 만족하는 것으로 분석되었으나, 압축성능이 기준 대비 과도한 것으로 분석되었다. 이는 개선된 이동식 비계 설계 시 KS규격과 방호장치 안전인증 고시에서 규정하고 있는 규격과 성능을 고려하여 제작되었기 때문이며, 이로 인해 경량화에는 한계가 있었다. 따라서 현행 부재별 안전인증 기준을 실제 사용조건에 맞도록 조립체에 대한 안전인증(성능 등) 기준으로 개정할 필요가 있다.

V. 결 론

.....

V. 결론

본 연구는 국내 건설현장의 낮은 높이 작업용 이동식 비계에서 지속적으로 발생하고 있는 사망재해예방을 위해 이동식 비계의 국내·외 문헌 분석, 중대 재해분석, 현장 실태조사를 통해 개선된 이동식 비계 모델을 도출하였고, 이를 토대로 구조해석을 실시한 후 시제품을 개발하여 실험시험을 통해 구조안전성을 검증하였다. 이에 따라 안전성과 현장 적용성이 높은 개선된 이동식 비계 모델과 이동식 비계 설치 및 사용안전 기술지침 개정(안)을 제시하였으며, 연구 결과는 다음과 같다.

첫째, 국내·외 이동식 비계의 안전기준 분석결과에 따르면 국내 이동식 비계는 방호장치 안전인증 고시에 따라 의무안전인증 대상으로 구조와 규격 및 성능이 규정되어 있어, 다양한 제품을 개발하기 어려운 실정이다. 주틀의 경우 폭 1.2~1.6m로 규격화되어 좁은 장소에서 사용이 어렵고, 아웃트리거의 경우에도 너비(폭) 0.6m 이상이고, 높이는 너비의 2배 이상으로 규정하고 있어, 주틀의 높이와 관계없이 일정 규격 이상의 크고 무거운 아웃트리거를 사용해야 되므로 해외 표준규격(EN규격 등)을 참조하여 관련 기준의 합리적 개정이 필요하다.

둘째, 최근 10년간(2011년~2020년) 건설업의 이동식 비계 사고사망자는 총 117명으로 연평균 11.7명이 발생하였으며, 그 중 88%를 차지하는 떨어짐(추락)재해(103명)의 주요 원인은 안전난간 73.8%(76명), 승강설비 중 사다리 23.3%(24명), 작업발판 2.9%(3명) 순으로 분석되어, 안전난간의 설치가 용이하고, 하부에서 설치할 수 있도록 개선이 필요하며, 주틀 내부에서 승강토록 기술적·제도적 개선이 시급하다.

셋째, 이동식 비계에 관한 이해 관계자 인터뷰 및 설문조사 결과에 따르면 이동식 비계의 추락재해 예방을 위해 우선적으로 개선해야 할 사항은 ① 좁은 장소에서도 작업이 가능하도록 개선 ② 안전난간을 미리 설치할 수 있는 기술 적용 ③ 승강은 주틀의 내부 계단이나 사다리를 사용할 수 있도록 개폐형 작업 발판 적용 ④ 일정 높이 마다 작업발판을 설치할 수 있도록 개선 ⑤ 이동식 비계의 사용 높이에 적합한 아웃트리거를 사용할 수 있도록 개선 ⑥ 다양한 종류의 이동식 비계 개발·보급을 위해 해외 표준규격(EN 등)에 따라 설계 후 안전성이 검증되면 사용할 수 있도록 제도 개선이 필요한 것으로 판단된다.

넷째, 이동식 비계 관련 기준 고찰과 중대재해 및 실태조사 분석 결과를 토대로 개선모델을 제시하였고, 동 모델에 대해 구조검토와 실물시험을 실시한 결과 모든 부재는 현행 고시의 성능기준을 만족하는 것으로 평가되었다. 개선 모델은 작업자의 떨어짐(추락) 사고와 비계의 뒤집힘(전도) 사고 예방에 효과적인 것으로 평가되었으며, 현장 적용성 향상을 위해 주틀의 폭과 수평재 길이는 가로 0.6~0.9m, 세로 1.5m로 제작·사용할 것을 제안하였다.

다섯째, 이동식 비계의 안전한 사용을 위해 이동식 비계 설치 및 사용안전 기술지침 개정(안)을 제시하였으며, 주요 내용으로는 선행안전난간대와 바퀴 부착형 아웃트리거를 반영하였고, 개별부재의 국내 기준이 없는 경우 국제기준, 유럽기준 등에서 정하는 기준에 따라 사용할 수 있도록 하였으며, 승강 시 내부 계단이나 사다리를 사용할 것을 제안하였다.

여섯째, 본 연구에서 제시한 이동식 비계는 건설현장에서 즉시 적용할 수 있다. 또한 개선된 이동식 비계에 적용된 발바퀴 부착형 아웃트리거와 선행안전난간대는 다양한 이동식 비계 개발 시 적용할 수 있을 것으로 기대되며, 향후 방호장치 안전인증 고시, 국가기준 및 KOSHA GUIDE 등의 기준 개정 시 유용하게 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

마지막으로 현행 안전인증 고시는 이동식 비계의 부재별 규격, 재료 및 성능 기준을 제시하고 있어, 이동식 비계의 경량화와 다양한 제품 개발에 제한이 있으므로 유럽의 EN규격 등과 같이 설계기준에 따른 구조안전성(전도 포함) 검토와 강성시험을 통해 사용높이를 제한하는 등 관련 기준을 개정하거나, EN 규격 등을 KOSHA GUIDE에 반영하고, KOSHA GUIDE에 따라 임의안전 인증을 받을 수 있도록 제도개선이 필요하다.

본 연구에서 개발한 이동식 비계는 현행 방호장치 안전인증 고시와 한국산업 표준에 따라 규격 및 성능을 만족하도록 설계되어 제품의 경량화에는 한계가 있었다. 향후 이동식 비계의 안전성 및 실용성 강화를 위해서는 3가지의 후속 연구가 필요하다. 첫째, 고강도강 또는 알루미늄 등의 소재를 사용한 이동식 비계의 경량화 연구가 필요하다. 둘째, 현행 개별 부재에 대한 안전인증 방식으로는 다양한 제품의 개발에 한계가 있으므로 조립된 이동식 비계에 대한 구조 안전성 평가 방법 및 성능기준 마련 연구가 필요하다. 마지막으로 이동식 비계의 안전난간대, 아웃트리거 등 안전시설의 설치율과 재해와의 상관관계 분석에 관한 후속 연구가 필요하다.

기존 이동식 비계를 개선된 이동식 비계로 전환을 위해서는 공공공사와 대형 공사현장에 시범 적용을 통해 중·소규모 건설현장으로 확대할 필요가 있으며, 재정지원 사업과 연계한다면 건설현장의 수용성이 높을 것으로 판단된다. 이를 통해 많은 건설현장에 적용될 경우 이동식 비계 사용에 따른 사망재해예방과 더불어 안전시장 활성화에 기여할 것으로 기대된다.

참고문헌

- 국가기술표준원. 이동식 강관 비계용 부재(KS F 8011 : 2011). 국가기술표준원. 2016.
- 국토교통부. 비계 및 안전시설물 설계기준(KDS 21 60 00). 국토교통부. 2020: pp.1-9.
- 고용노동부. 산업안전보건기준에 관한 규칙. 고용노동부. 2021.
- 고용노동부. 방호장치 안전인증 고시(고용노동부 고시 제2021-22호). 고용노동부. 2021.
- 고용노동부. 안전인증대상기계 등이 아닌 유해위험기계 등의 안전인증 규정(고용노동부 고시 제2020-39호). 고용노동부. 2020.
- 고용노동부. 산업안전보건법 제83조(안전인증기준)와 제84조(안전인증). 고용노동부. 2021.
- 고용노동부, 한국산업안전보건공단, 부산도시공사. 건설현장 비계작업안전 실무 안내서. 한국산업안전보건공단. 2019:pp.48-51.
- 김정룡, 민승남, 이민호 등. F-scan을 이용한 이동식 비계 사용시 자세안정도 평가. 대한인간공학회 학술대회 논문. 2010.
- 박성민. 건설현장 추락사 5년새 1348명...정부 위험현장 집중점검. 동아일보. 2021:B08.
- 박주동, 문성오, 이현섭 등. 비계작업의 추락재해예방을 위한 선행 안전난간 공법의 도입 타당성 분석. 한국안전학회지, 35(4), 2010: pp.23-31.

박주동, 이현섭, 신우승 등. 교차가새형 선행 안전난간을 적용한 시스템비계의 구조 성능 평가. 한국안전학회지, 2020;35(5):pp.49-58.

산업안전보건연구원. 추락재해예방을 위한 비계 안전난간 선행공법의 국내 건설현장 적용에 관한 연구. 산업안전보건연구원. 2019.

산업안전보건연구원. 추락 2.5 재해특성 분석 및 안전장치 개발 연구. 산업안전보건연구원. 2007.

산업안전보건연구원. 소규모 건설현장의 추락재해예방을 위한 안전모델 연구 (안전기준, 교육 및 사다리를 중심으로). 산업안전보건연구원. 2008.

산업안전보건연구원. 해외 선진국 추락사고 예방기법 사례 연구. 산업안전보건연구원. 2019.

산업안전보건연구원. 이동식 사다리 안전작업기준 및 안전모델 제시에 관한 연구. 산업안전보건연구원. 2019.

장명훈. 이동식 틀비계의 전도방지용 비분리형 버팀대 개발. 건설환경연구소 논문집, 2012; 7(1):pp.73-81.

최승주, 신운철, 최돈홍. 이동식 비계 작업발판의 사용 실태조사. 대한안전경영과학회지, 2013;15(2):pp.79-84.

한국산업안전보건공단. KOSHA GUIDE C-28-2018(이동식 비계 설치 및 사용안전 기술지침). 한국산업안전보건공단. 2018.

한국산업안전보건공단. 건설업 중대재해조사보고서. 한국산업안전보건공단. 2011-2020.

한국산업안전보건공단. 특허출원 제10-2020-0132931(보조수직재 결합형 수평 선행안전난간대). 2020;서울:특허청.

한국산업안전보건공단. 특허출원 제10-2021-0176381(이동식 비계 구조물). 2021;서울:특허청.

한국산업안전보건공단. 특허출원 제10-2021-0176383(이동식 비계 구조물). 2021;서울:특허청.

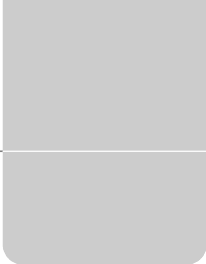
American National Standards Institute(ANSI)/American Society of Safety Professionals(ASSP). Scaffolding Safety Requirements : A10.8. ANSI/ASSP. 2019.

Dongkyu Lee, Thanh T. Binh, Nam G. Luu, A non-homogeneous multi-material topology optimization approach for functionally graded structures with cracks, Composite Structures 2021:p273.

European Committee for Standardization. Temporary works equipment-Part1 : Scaffolds-Performance requirements and general design(BS EN 12811-1). European Committee for Standardization. 2003.

National Access & Scaffolding Confederation(NASC). Preventing Falls in Scaffolding Operations, Safety Guidance 4. NASC. 2015.

WorkSafe New Zealand. Scaffolding in New Zealand. WorkSafe New Zealand, 2016:pp. 60-63.



Abstract

A Study on the Improvement of Safety and Applicability of Moving Scaffoldings in Construction Fields

Objectives : While workers use moving scaffoldings in construction fields, fall accidents are constantly appearing. It results from inconvenience of use and structural non-safety of components of the moving scaffoldings, non-installation of work platforms unsafe working methods of workers, workers' inattentiveness and so on. The objective of this study is to propose new models of the components and work standards that improve the safety and use convenience of moving scaffoldings in construction fields.

Method : In this study, in compared with a domestic standard(Ministry of Employment and Labor's Notice, 2021), European Standard(DIN EN 1004) and American Standards(ANSI-ASSP A10.8) are surveyed. In addition, fatal accidents related to moving scaffoldings for the past 10 years(from 2011 to 2020) are investigated, and problems in the use of moving scaffoldings are derived through interviews and surveys with construction field stakeholders. Based on this, moving scaffolding safety models are described, and optimal models are chosen through experts' peer review meetings. After evaluating the structural safety of

the chosen models through structural analyses, prototypes of them are actually manufactured, and then structural safety of the models is verified through real experiments.

Results : As a result of analyzing the safety certification criteria for domestic mobile scaffoldings, it is found that the size of each component is standardized and the applicability of the components in the field is low. 117 deaths in the fatal accidents are occurred in moving scaffolding works for the past 10 years(2011 through 2020). In the fatal accidents, the ratio of fall accidents is 88% of 117 which is the highest. Here, overturned(10.3%) and collapsed(1.7%) accidents are followed. According to the results of interviews and surveys with field stakeholders, several crucial improvement points are required for the safe use of the moving scaffoldings. First, the main frame needs to be adjusted in length to be fitted in the construction field conditions. Second, safety railings need to be installed in advance before works. Third, the installation location of the work platforms has to be varied. Fourth, it is necessary to use inner stairs or ladders when accessing. Through reflecting them, moving scaffoldings are proposed and developed. As a result of structural analyses using a MIDAS-GEN software and real size tests of the prototypes, it is verified that structural safety and convenience in use are secured.

Conclusion : In this study, a moving scaffolding that is highly useful in construction sites is proposed. The main features are adjustable main frames, advanced guardrails, wheel-attached outriggers and internal access of stairs or ladders, etc. It is necessary to revise KOSHA GUIDE(safety technical guidelines of moving scaffoldings) to reflect the

features. The results of this study are expected to contribute greatly to the prevention of deaths of moving scaffoldings at construction fields. In the future, studies on weight reduction or size optimization of moving scaffoldings and structural safety measurements of global moving scaffoldings assembling the improved components are expected.

Key words : Moving scaffolding, Advanced guardrails, Wheel-attached outriggers, Structural analysis, Real size test

부 록

부록 1 : 설문조사지

부록 2 : 이동식 비계 설치 및 사용안전 기술지침
개정(안)

.....

부록 1 : 설문조사지

『이동식비계 사용 실태조사를 통한 현장 적용성 개선 모델 제시 연구』를 위한 설문지

안녕하십니까?

산업안전보건공단 산업안전보건연구원과 세종대학교 연구진에서는 『이동식비계(BT틀비계) 사용 실태조사를 통한 현장 적용성 개선 모델 제시 연구』를 추진하고 있습니다.

최근 5년간(2015~2019년) 건설현장의 낮은 높이 작업용 이동식비계(BT틀비계)와 이동식사다리에서 연평균 31명의 사고성사망자 및 2,577명의 사고성재해자가 발생하고 있는 실정입니다.

이에 본 설문은 국내 건설현장의 이동식 비계(BT틀비계) 사용실태 조사를 통해 사용상 문제점과 개선 방향을 도출하여 안전하고 편리한 이동식비계(BT틀비계) 개발 및 제도개선의 기초자료로 활용될 예정입니다.

아울러, 본 설문에 응답해주신 내용은 통계법 제33조(비밀의 보호) 제1항 및 제2항에 따라 철저하게 비밀이 보장되며, 오직 연구를 위한 자료로만 사용할 것을 약속드립니다. 본 설문 응답에는 정답이 없습니다. 이동식비계(BT틀비계) 사용과 관련하여 평소 경험과 느끼신 대로 솔직하게 응답해 주시길 부탁드립니다. 감사합니다.

통계법 제33조(비밀의 보호 등)

1. 통계작성과정에서 알려진 사항으로서 개인 또는 법인이나 단체의 비밀에 속하는 사항은 보호되어야 한다.
2. 통계작성을 위하여 수집된 개인 또는 법인이나 단체의 비밀에 속하는 기초자료는 통계작성의 목적 외에 사용하여서는 아니 된다.

※ 본 설문과 관련하여 문의사항이 있으시면 담당자에게 문의하여 주시기 바랍니다.

설문 작성 방법 : 설문 내용을 잘 읽고 해당하는 부분에 √표시하고, 기타()나 주관식의 경우 간단히 작성하여 주시기 바라며, 설문 후 담당자 이메일 또는 팩스로 회신하여 주시기 바랍니다. (본 설문은 온라인으로도 응답이 가능하오니, 편하신 방법으로 응답해 주시면 됩니다.)

2021년 7월

산업재해예방

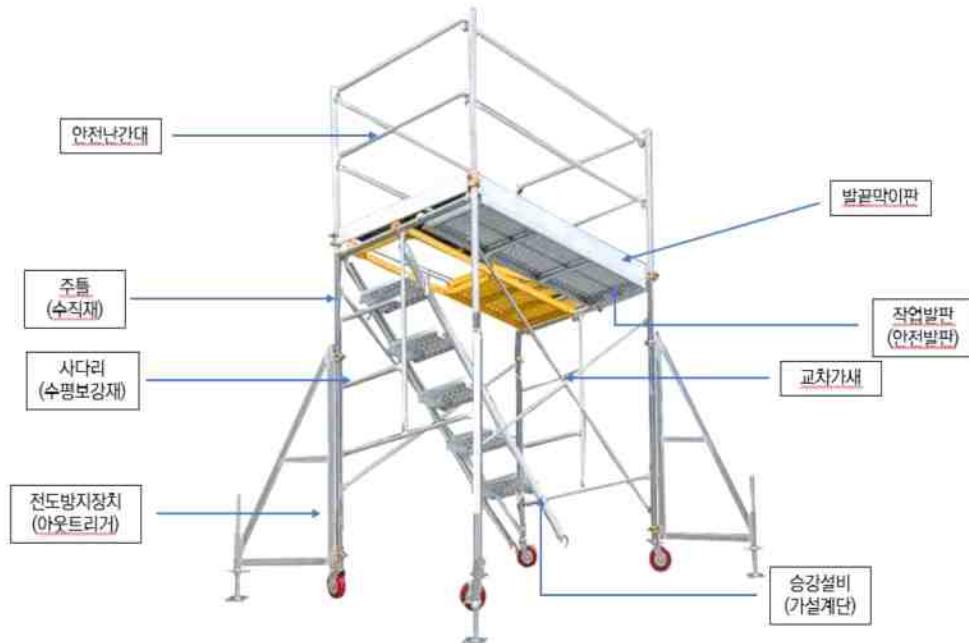
안전보건공단

산업안전보건연구원



세종대학교

2 다음은 이동식비계 작업관련 질문입니다.



<그림> 이동식 비계

문8. 이동식 비계 작업 중 사고가 많이 발생하는 경우는 무엇이라 생각하십니까?
(최대 3개까지 복수 선택 가능)

- ① 경사로에 이동식비계를 설치하여 전도(넘어짐)
- ② 작업발판 단부에 안전난간 미설치 상태로 작업 중 추락
- ③ 작업발판 단부에 안전난간 설치·해체 중 추락
- ④ 주틀의 사다리로 오르내리던 중 추락
- ⑤ 작업발판 위에 사다리나 말비계 설치 후 작업 중 추락
- ⑥ 전도방지장치(아웃트리거) 미설치로 이동식비계 전도
- ⑦ 작업자 탑승 상태로 이동식비계 이동 중 전도 또는 추락
- ⑧ 바퀴(각륜) 구름방지장치 미작동으로 흔들림에 의한 추락
- ⑨ 기타()

문9. 건설현장에서 사용하고 있는 이동식 비계 사용 중 또는 설치·해체 시 불편한 점이 있었습니까?

- ① 예(문 9-1로 이동) ② 아니요(문 10로 이동) ③ 잘 모름(문 10로 이동)

문9-1. (문9의 “① 예” 응답자만) 어떤 점이 불편하십니까?(해당사항 모두 선택)

- ① 이동식비계가 무거워서 ② 안전난간을 설치하기가 어려워서
③ 사다리로 오르내릴때 위험해서 ④ 바퀴 구름이 원활하지 않아 이동이 어려워서
⑤ 안전인증품을 구하기가 어려워서 ⑥ 높게 설치하면 흔들림이 많아서
⑦ 전도방지장치 설치·해체가 불편해서 ⑧ 좁은 공간에 설치가 어려워서
⑨ 안전난간 설치·해체 시 위험해서 ⑩ 설치·해체 작업이 복잡해서
⑪ 기타()

문10. 작업발판의 설치·해체 및 사용 중 위험하거나 불편하다고 생각되는 것은 무엇입니까?

(최대 3개까지 복수 선택 가능)

- ① 작업발판의 무게 ② 작업발판의 미끄러짐 정도
③ 작업발판의 처짐 ④ 안전난간이 없는 상태로 작업하므로 추락위험
⑤ 구조적 결함에 의한 파손 ⑥ 결함이 있는 발판 사용으로 추락 위험
⑦ 기타() ⑧ 해당없음

문11. 작업발판을 누락없이(틈새가 3cm미만) 설치하십니까?

- ① 예(문 12로 이동) ② 아니요(문 11-1로 이동) ③ 잘 모름(문 12로 이동)

문11-1. (문11의 “② 아니요” 응답자만)설치하지 않는다면 그 이유는 무엇입니까?

- ① 작업발판이 무거워서 ② 설치가 번거로워서
③ 틈새가 있더라도 사용상에 문제가 없어서 ④ 기타()

문12. 비계 설치 시 내부계단을 설치하십니까?

- ① 예(문 13으로 이동) ② 아니요(문12-1로 이동)

문12-1. (문12의 “② 아니요” 응답자만) 설치하지 않는다면 그 이유는 무엇입니까?

- ① 내부계단 설치가 번거로워서 ② 내부계단의 무게가 무거워서
③ 사용이 불편해서 ④ 덮개형(개폐형) 작업발판을 구하기 어려워서
⑤ 주틀의 사다리(답단)를 사용하므로 ⑥ 기타()

문13. 주틀의 사다리(답단, 횡가재, 수평부재)로 오르내린 경험이 있습니까?

- ① 예(문 14로 이동) ② 아니요(문13-1로 이동)

문13-1 (문13의 “② 아니요” 응답자만) 어떤 종류의 승강설비를 이용합니까?

- ① 가설계단 ② 주틀의 보강재(폭 약 15cm) ③ 임시 사다리 ④ 기타()

문14. 이동식 비계를 보관 및 운송할 때 불편한 점이 있었습니까?

- ① 예(문14-1로 이동) ② 아니요(문 15로 이동)

문14-1 (문14의 “① 예” 응답자만) 불편한 적이 있으셨다면 그 이유는 무엇입니까?
(최대 2개까지 복수 선택 가능)

- ① 부재의 크기가 커서 ② 부식 등과 같이 손상이 쉽게 발생해서
③ 승용차에 싣기가 불편해서 ④ 기타()

문15. 이동식비계 1단(높이 약 2m)에서 떨어졌을 때 어느 정도의 상해를 입는다고
생각하십니까?

- ① 다치지 않음 ② 찰과상 ③ 타박상 ④ 골절 ⑤ 출혈 ⑥ 사망 ⑦ 기타()

문16. 이동식비계 1단(높이 약 2m)에서 떨어졌을 때 어느 부위를 다칠 것이라 생각하십니까?

- ① 다리 ② 팔 ③ 허리 ④ 목 ⑤ 머리 ⑥ 기타()

3 다음은 이동식비계 관련 기술 및 제도개선에 관한 질문입니다.

○ 이동식비계 관련 재해를 예방하기 위해 아래의 항목에 대해 개선되어야 할 필요가 얼마나
있다고 생각하십니까? (해당 숫자에 √ 표시)

항 목		전혀 필요없음	필요 없음	보통임	필요 있음	매우 필요있음
17	이동식비계의 경량화	1	2	3	4	5
18	이동식비계 설치·해체의 편의성 향상	1	2	3	4	5
19	이동식비계 이동의 편리성 향상	1	2	3	4	5
20	사다리에서 가설계단으로 승강설비 변경	1	2	3	4	5
21	작업발판 단부에 안전난간을 미리 설치 할 수 있는 방법으로 개선 (일명 “안전난간 선행공법” 적용)	1	2	3	4	5
22	이동식비계 주틀의 최소폭(1.2m) 기준 완화	1	2	3	4	5
23	다양한 종류의 이동식 비계 개발을 위해 해외 안전인증 기준으로 안전인증 취득이 가능하도록 제도 개선	1	2	3	4	5

문24. (건의사항) 향후 편리하고 안전한 이동식 비계 개발을 위해 개선해야 할 사항이 있으시면 자유롭게 작성해 주십시오. (의견이 있을 경우만 작성)

문25. (건의사항) 기타 낮은 높이용 작업발판 제조·사용·안전인증 등에 관한 제도개선 사항이나, 기술적 개선사항에 대한 의견이 있으시면 자유롭게 작성해 주십시오.

(의견이 있을 경우만 작성)

❖ 설문에 참여해 주셔서 감사합니다 ❖

부록 2 : 이동식 비계 설치 및 사용안전 기술지침 개정(안)

1. 목 적

이 지침은 「산업안전보건기준에 관한 규칙」(이하 "안전보건규칙" 이라 한다) 제68조에 의하여 건설공사현장에서 사용하는 이동식 비계의 재료와 구조, 설치 및 사용에 관한 기술적 사항을 정함을 목적으로 한다.

2. 적용범위

이 지침은 건설공사 현장에서 사용하는 이동식 비계의 구조 및 사용에 대하여 적용한다.

3. 용어의 정의

(1) 이 지침에서 사용하는 용어의 정의는 다음과 같다.

(가) “이동식 비계”라 함은 이동식 비계용 주틀의 하단에 발바퀴를 부착하여 이동할 수 있도록 조립한 비계를 말한다.

(나) “이동식 비계용 주틀”이란 이동식 비계를 구성하기 위하여 수직으로 조립되는 주틀을 말한다.

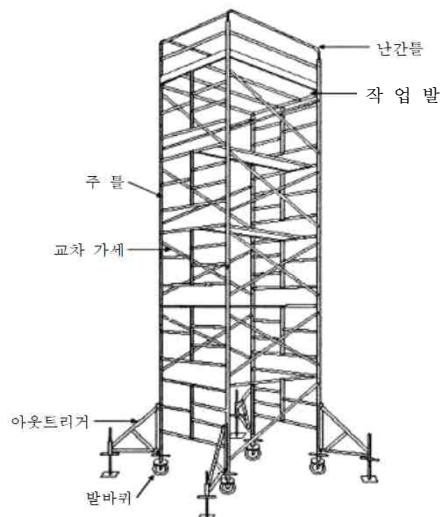
(다) “발바퀴”란 주틀의 기동재 최하단에 삽입되는 바퀴를 말한다.

(라) “이동식 비계용 난간틀”이란 이동식 비계 상부의 작업발판에서 작업자가 추락하지 않도록 설치하는 안전난간을 말한다.

(마) “선행안전난간대”란 하부의 작업발판에서 상부 작업발판 단부에 미리 설치할 수 있는 안전난간대를 말한다.

(바) “이동식 비계용 아웃트리거”란 이동식 비계에서 작업 중이거나, 작업자가 승강 중에 비계가 전도되는 것을 방지하기 위하여 설치하는 지지대를 말한다.

(2) 그 밖에 이 지침에서 사용하는 용어의 뜻은 이 지침에 특별한 규정이 없으면 「산업안전보건법」(이하 “법” 이라 한다), 같은 법 시행령(이하 “령” 이라 한다), 같은 법 시행규칙(이하 “규칙” 이라 한다), 방호장치 안전인증 고시 및 방호장치 자율안전기준 고시(이하 “안전인증고시” 라 한다) 또는 「산업표준화법」에 따른 한국산업표준에서 정하는 기준 등에서 정하는 바에 따른다.



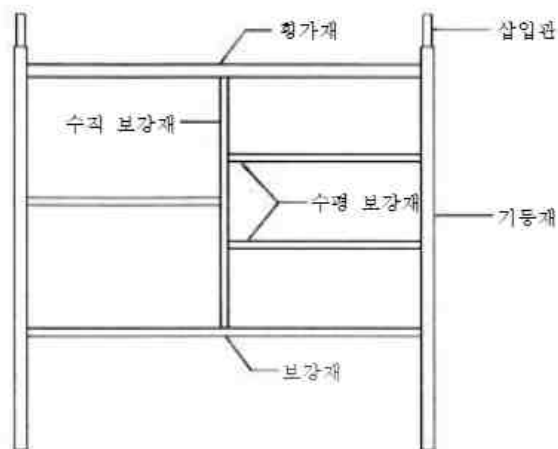
〈그림1〉 이동식 비계 예(참조그림)

4. 재 료

- (1) 이동식 비계의 주틀(이하 “주틀”이라 한다), 발바퀴, 이동식 비계용 난간틀 또는 선행안전난간, 교차가새, 작업대(이하 “작업발판”이라 한다), 이동식 비계용 아웃트리거(이하 “아웃트리거”라 한다)의 각부분에 사용하는 재료는 안전인증고시 또는「산업표준화법」에 따른 한국산업표준에서 정하는 기준에서 정하는 기준 등에 적합하거나 동등이상의 성능을 가진 재료를 사용하여야 한다.
- (2) 주틀 및 발바퀴 등의 모든 부재는 현저한 손상, 변형, 부식 또는 마모가 없는 것이어야 한다.

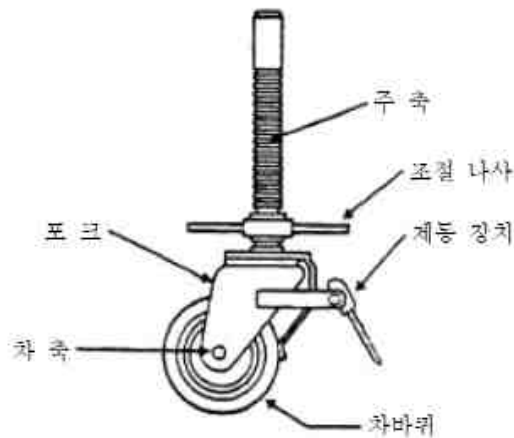
5. 구 조

- (1) 주틀은 <그림 2>와 같이 기둥재, 횡가재 및 보강재가 일체화된 구조로서 안전인증고시 또는 한국산업표준(KS F 8011)에서 정하는 기준에 따른다.



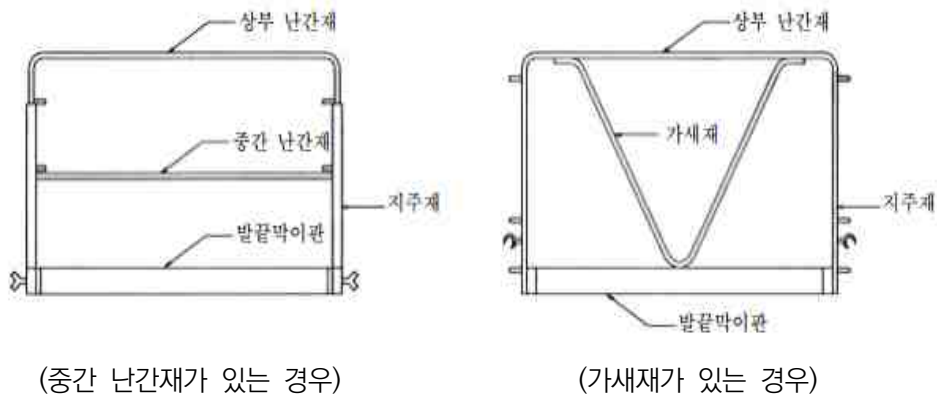
〈그림2〉 주틀(참조그림)

- (2) 발바퀴는 <그림 3>과 같이 주축, 포크, 차축 및 제동장치로 구성되며 안전인증고시 또는 한국산업표준(KS F 8011)에서 정하는 기준에 따른다.



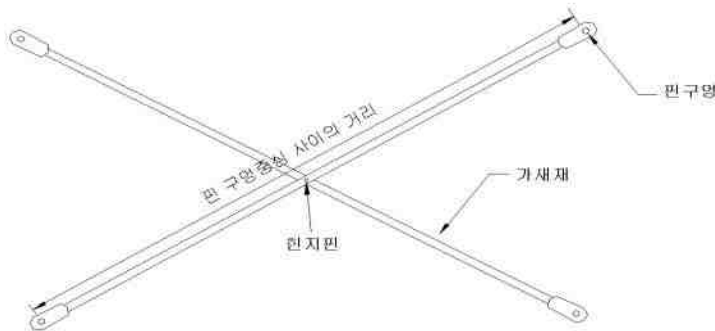
<그림3> 발바퀴(참조그림)

- (3) 난간틀(또는 선행안전난간대)은 <그림 4>와 같이 발끝막이판, 지주재, 난간재, 가새재 및 설치용 철물 등으로 구성되며 안전인증고시 또는 한국산업표준(KS F 8011)에서 정하는 기준에 따른다.



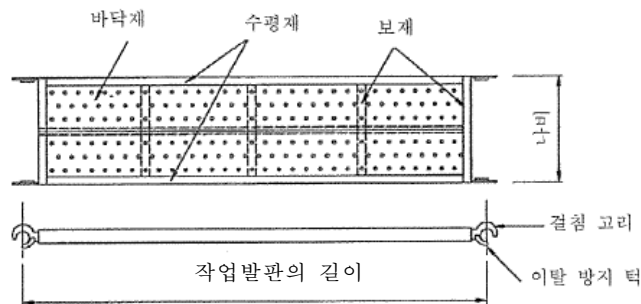
<그림 4> 난간틀(참조그림)

- (4) 교차가새는 <그림 5>와 같이 2개의 가새재를 중앙부에서 힌지 핀으로 결합한 것이어야 하고 안전인증고시 또는 한국산업표준(KS F 8003)에서 정하는 기준에 따른다.



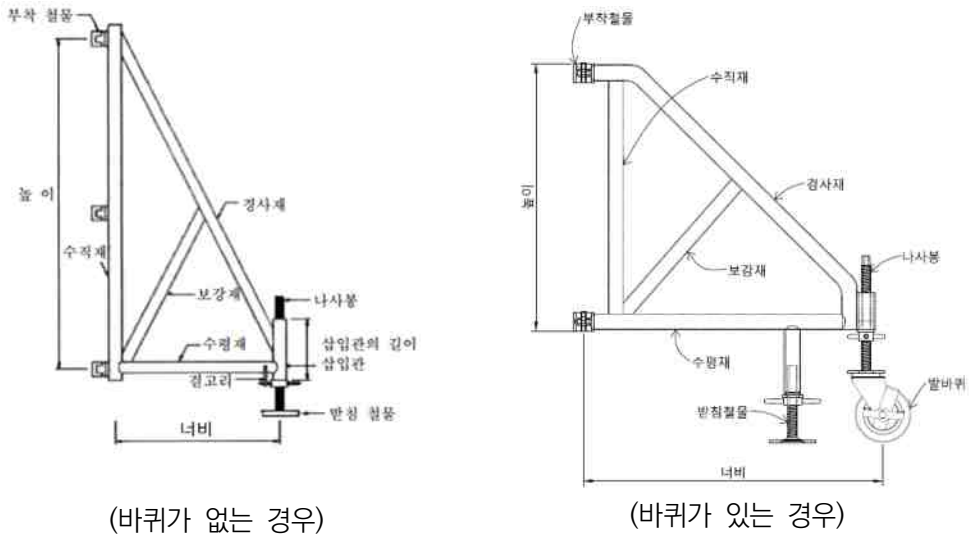
<그림 5> 교차가새(참조그림)

- (5) 작업발판은 <그림 6>과 같이 바닥재, 수평재, 보재 및 결침고리로 구성되고, 안전인증고시 또는 한국산업표준(KS F 8012)에서 정하는 기준에 따른다.



<그림 6> 작업발판(참조그림)

- (6) 이동식 비계용 아웃트리거는 <그림 7>과 같이 수평재, 수직재, 경사재, 보강재, 삽입관, 받침 철물 및 2개 이상의 부착 철물로 구성되며 안전인증고시 또는 한국산업표준(KS F 8011)에서 정하는 기준에 따른다.



〈그림 7〉 아웃트리거(참조그림)

- (7) 주틀 및 발바퀴 등 부재에 대한 국내 기준이 없는 경우 국제기준 (ISO/IEC), 유럽기준(EN) 등에서 정하는 기준에 따라야 하며, 구조분야 전문가격을 갖춘 기술자로부터 구조안전성을 검토받은 후 사용하여야 한다.

6. 높이제한

- (1) 이동식 비계의 높이는 다음 식에서 산정한 높이 이하로 설치하여야 한다.

$$H \leq 7.7L - 5.0$$

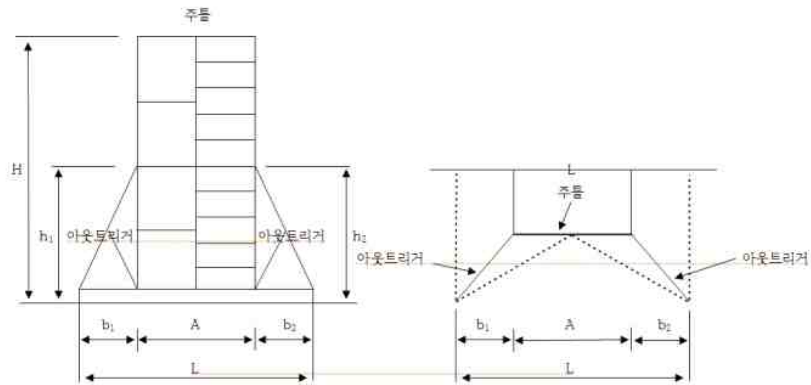
여기서, H : 발바퀴 하단부터 작업발판까지의 높이(m)

L : 발바퀴의 주축(단변) 간격(m)

(2) 발바퀴의 주축간격(L)은 다음과 같이 산정하여야 한다.

① 아웃트리거의 높이가 폭의 3배 이상으로 아웃트리거가 회전하지 않는 경우

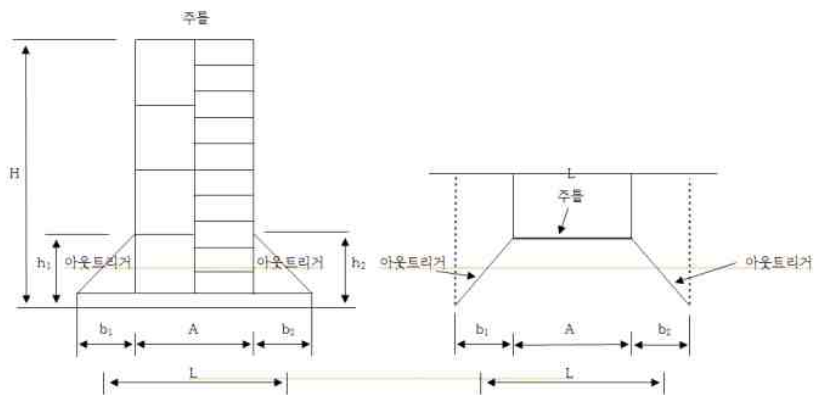
$$L = A + b_1 + b_2$$



〈그림 8〉 발바퀴 주축간격(참조그림)

② ① 이외의 경우

$$L = A + \frac{(b_1 + b_2)}{2}$$



〈그림 9〉 발바퀴 주축간격(참조그림)

7. 최대적재하중

(1) 이동식 비계 작업발판의 최대적재하중은 바닥면적의 넓이에 따라 다음 값 이하로 사용하여야 한다.

① 바닥면적 $\geq 2\text{m}^2$ 일 때, $W=2.5\text{kN}$ 이하

② 바닥면적 $< 2\text{m}^2$ 일 때, $W=(0.5+1.0\times\text{바닥면적}(\text{m}^2)+0.5)\text{kN}$ 이하
여기서, W : 적재하중

8. 사용상의 주의사항

(1) 작업발판은 항상 수평을 유지하고 작업발판 위에서 안전난간을 딛고 작업을 하거나 받침대 또는 사다리를 사용하여 작업하지 않아야 한다.

(2) 작업발판에는 3인 이상이 탑승하여 작업하지 않도록 하여야 한다.

(3) 이동식 비계의 발바퀴에는 뜻밖의 갑작스러운 이동 또는 전도를 방지하기 위하여 브레이크·썩기 등으로 바퀴를 고정시킨 다음 이동식 비계의 일부를 견고한 시설물에 고정하거나 아웃트리거(outrigger)를 설치하는 등 필요한 조치를 하여야 한다.

(4) 이동식 비계에는 최대적재하중 등의 안전표지를 잘 보이는 위치에 부착하여야 한다.

(5) 이동식 비계를 조립하는 경우에는 KOSHA GUIDE 「재사용 가설기자재 성능기준에 관한 지침」 부록1, 6. 이동식 비계용 부재에서 제시하고 있는 점검기준에 의해 점검하여야 한다.

- (6) 작업발판, 주틀, 발바퀴, 안전난간 등의 부재 이음부, 교차부는 사용 중 쉽게 탈락하지 않도록 결합하여야 한다.
- (7) 이동식 비계는 가능한 작업장소 가까이에 설치하여야 한다.
- (8) 주틀에 승강로가 설치된 이동식 비계에는 승강 중 추락 및 전도방지를 위해 주틀 내부에 가설계단이나 계단형 사다리를 설치하여 사용하거나, 내부에서 주틀의 승강로(사다리)를 이용하여 승강하도록 한다.
다만, 현장 여건상 부득이하게 주틀의 외부 승강로를 이용하여 승강할 경우 이동식 비계의 전도방지를 위해 같은 면으로 동시에 2인 이상이 승강하지 않아야 한다.
- (9) 이동식 비계에 중량물이 적재된 상태 또는 근로자가 탑승한 상태에서 이동식 비계를 이동시키지 말아야 하며, 이동 시에도 아웃트리거가 유효하게 작동하도록 하는 등 전도되지 않도록 하여야 한다.
- (10) 주틀에는 발판간격이 동일한 사다리(폭: 30cm 이상, 발판간격 : 40cm 이하)를 설치하거나, 계단(경사 50°이하, 폭 35cm 이상)을 설치하여야 한다.

연구진

연구기관 : 산업안전보건연구원

연구책임자 : 박주동 (연구위원, 산업안전연구부)

연구원 : 강성운 (과장, 산업안전연구부)

부분위탁

연구기관 : 세종대학교 산학협력단

연구책임자 : 이동규(부교수, 세종대학교 건축공학과)

연구원 : 정원식(연구원, 세종대학교 건축공학과)

이상곤(연구원, 세종대학교 건축공학과)

김가영(연구원, 세종대학교 건축공학과)

이민우(연구원)

연구기간

2021. 2. 24. ~ 2021. 11. 30.

본 연구는 산업안전보건연구원의 2021년도 자체연구(부분위탁 포함)에 의한 것임.

본 연구보고서의 내용은 연구책임자의 개인적 견해이며,
우리 연구원의 공식견해와 다를 수도 있음을 알려드립니다.

산업안전보건연구원장

건설현장 이동식 비계의 안전성과 현장 적용성 개선 연구
(2021-산업안전보건연구원-796)

발 행 일 : 2021년 11월 30일

발 행 인 : 산업안전보건연구원 원장 김은아

연구책임자 : 산업안전연구부 연구위원 박주동

발 행 처 : 안전보건공단 산업안전보건연구원

주 소 : (44429) 울산광역시 중구 종가로 400

전 화 : 052-703-0844

팩 스 : 052-703-0334

Homepage : <http://oshri.kosha.or.kr>

I S B N : 979-11-92138-59-6