creative commons
COMMONS DEED

저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:

저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.

비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.

변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 이용허락규약(Legal Code)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

Disclaimer

dCollection

[UCI]I804:48009-200000364847

공 학 박 사 학 위 논 문

추락재해예방을 위한 시스템비계의 선행 안전난간 설치 공법에 관한 연구

A Study on Advanced Guardrail Installation method of System Scaffolding to Prevent Falls

울 산 대 학 교 일 반 대 학 원
안 전 보 건 전 문 학 과
박 주 동

추락재해예방을 위한 시스템비계의 선행 안전난간 설치 공법에 관한 연구

지도교수 정 기 효

이 논문을 공학박사학위 논문으로 제출함

2020년 12월

울 산 대 학 교 일 반 대 학 원
안 전 보 건 전 문 학 과
박 주 동

박주동의 공학박사학위 논문을 인준함

심 사 위 원 김 재 균 (인)

심 사 위 원 박 창 권 (인)

심 사 위 원 장 길 상 (인)

심 사 위 원 박 순 응 (인)

심 사 위 원 정 기 효 (인)

울 산 대 학 교 대 학 원

2020년 12월

국문 요약

추락재해예방을 위한 시스템비계의 선행 안전난간 설치 공법에 관한 연구

울산대학교 일반대학원
안전보건전문학과
박 주 동

비계(Scaffolding)는 공사 구조물(예: 건물)의 주위에 조립 및 설치하는 가설구조물(예: 작업발판과 안전난간 및 지지부재)로서 고소작업 시 많이 사용되고 있다. 최근 3년간(2016년~2018년) 국내 산업현장 사고사망자의 51.3%(497명)는 건설업에서 발생하였고, 그 중 56.7%(282명)는 추락에 기인한 것으로 알려지고 있으며, 추락사망자 중 25.5%(72명, 최근 3년간 평균)는 비계관련 작업 중에 발생한 것으로 파악되고 있다. 국내 건설현장에 가장 많이 사용하고 있는 강관비계는 작업발판과 안전난간을 설치하지 않거나 안전기준 미준수 등의 원인으로 추락재해가 지속적으로 발생하고 있다. 그로 인해, 정부에서는 건설업 추락재해예방을 위해 강관비계에 비해 상대적으로 추락 위험성이 낮고, 규격화되어 설치가 편리한 시스템비계 활성화 정책을 추진하여 강관비계가 시스템비계로 대체되고 있다. 그러나 시스템비계는 강관비계와 동일하게 안전난간이 없는 작업발판에 올라가서 안전난간을 나중에 설치하는 공법(안전난간 후행공법)을 적용하고 있어 비계를 설치·해체할 때 여전히 작업자가 추락위험에 노출될 수 있는 한계점이 있다. 이처럼 비계 설치·해체 작업과정에서 발생하는 추락재해의 근원적 예방을 위해 비계설치 시 안전난간을 미리 설치하고, 해체 시 안전난간을 나중에 해체하는 선행 안전난간 설치 공법(안전난간 선행공법)의 도입이 절실히 필요한다.

본 연구는 비계에 대한 국내 실태 분석, 국내·외 제도 분석, 경제성 분석 등을 통해 안전난간 선행공법의 도입 타당성을 종합적으로 분석하였다. 이를 통해 경제성과 작업성 등을 고려하여 국내 건설현장에서 가장 수용성이 높은 교차가새형 안전난간 선행공법(이하 “교차가새형 선행공법”이라 함)과 현행공법인 안전난간 후행공법(이하 “후행공법”이라 함)에 대해 구조해석과 실물실험을 통해 안전성을 검증하였다. 이를 위해, 본 연구는 비계 및 안전시설물 설계기준(KDS 21 60 00 : 2020)에 따라 교차가새형 선행 공법과 후행 공법을 적용한 시스템비계(동일 규모)에 대한 구조해석(선형해석)을 통해 교차가새형 선행공법이 설계기준에 적합한지와 교차가새형 선행공법과 후행 공법의 최대응력비, 최대변위 등을 분석하여 구조성능을 비교 평가하였다. 또한, 실제 소규모 건축현장에 설치하는 시스템비계와 유사한 후행 공법(수평안전난간 2

단 설치)과 교차가새형 선행 공법을 적용한 조립체의 극한하중 실험을 통해 구조성능을 비교 분석하였다. 구조안전성 검증후 선행안전난간대의 성능시험을 통해 방호장치 안전인증 고시 개정(안)을 제시하였으며, 그 연구 결과는 다음과 같다.

첫째, 국내 비계 작업 실태 분석 결과에 따르면 비계 설치・해체 작업 시 안전난간을 나중에 설치하는 후행 공법을 적용하고 있어, 추락 위험에 항상 노출되고 있다. 또한, 최근 3년간(2016년~2018년) 건설업 중대재해 분석결과에 따르면 우리나라에서 주로 사용되는 강관비계와 시스템비계에서 99명의 사망자가 발생하였고, 그중 비계 설치・해체 작업에서 27.3%(27명)가 발생되어 선행 공법의 도입이 시급한 것으로 사료된다.

둘째, 국내・외 안전난간 기준에 대한 분석 결과에 따르면 일본과 미국의 안전기준은 교차가새를 중간난간대로 인정하는 등 추락방지에 유효한 구조인 경우 안전난간으로 인정하고 있다. 그러나 국내의 경우 중간난간대의 인정범위에 대한 유권해석이 없어 선진국에서 적용하고 있는 교차가새형 선행안전난간대를 국내에 적용할 수 없는 실정이다. 따라서 안전성, 시공성, 그리고 경제성이 우수한 교차가새형 선행안전난간대를 국내에 도입하기 위해서는 중간난간대에 대한 유권해석(ANSI 규격 등을 반영한 해석) 등의 제도적 개선이 필요하다.

셋째, 선행 공법의 종류에는 순차형, 상승형, 수평틀형, 교차가새형, 수평난간형 선행안전난간 설치공법이 있으며, 시공성, 경제성 및 작업안전성이 높은 공법은 교차가새형 선행 공법인 것으로 분석되었다. 후행 공법과 교차가새형 선행 공법의 경제성 비교 분석 결과 교차가새형 선행 공법이 후행 공법에 비해 총액대비 6.9%, 인건비 대비 5.3%의 비용 절감 효과가 있는 것으로 분석되었다.

넷째, 설계기준에 따른 시스템비계(높이 31m)의 구조해석(선형해석) 결과 교차가새형 선행 공법의 교차가새 단면(φ21.7, 1.6t)이 후행 공법 가새(대각재)의 단면(φ42.7, 2.3t)보다 작아도 부재별 최대응력은 설계기준의 허용응력을 충족하는 것으로 나타났으며, 수직재・띠장 및 장선에 대한 조합응력비는 비슷한 수준으로 분석되었다. 특히, 잭베이스와 수직재의 조합응력비는 교차가새형 선행 공법이 후행 공법에 비해 각각 41.7%와 6.4%가 감소하였다. 반면, 최대 변위는 후행 공법이 교차가새형 선행 공법보다 6% 작았다. 이러한 경향성은 교차가새형 선행 공법이 비계 구조물 전체 구간에 설치한 교차가새형(X형) 선행 난간의 가새역할로 하중의 분산 효과가 있으며, 단면 축소와 부재수 감소에 따른 자중 감소(10.6%, 작업발판 포함)의 영향으로 후행 공법에 적용된 가새에 비해 상대적으로 부재의 단면이 작아도 구조적 안전성을 확보할 수 있다고 해석될 수 있다. 그러나 비계는 가새재와 벽이음의 배치 방법과 부재간 연결조건에 따라 최대응력비와 최대변위 등 구조성능에 차이가 발생할 수 있으므로 본 연구에서 모델링한 조건에 한정한 비교 분석결과임에 유의하여야 한다.

다섯째, 시스템비계 조립체(전체 높이 6.575m, 수직방향 3단)의 압축시험 결과에 따르면 교차가새형 선행 공법은 후행 공법보다 구조안전성과 경제성이 우수한 것으로 나타났다. 교차가새형 선행 공법(띠장 미설치 조건)은 후행 공법(띠장 설치 조건) 대비 극한하중이 9.7%(8.91kN) 우수한 것으로 분석되었다. 후행 공법과 교차가새형 선행 공법의 시스템비계는 유효좌굴 길이가 동일하나, 교차가새형 선행 공법은 일정 수준의 수직하중 분산과 수평방향의 회전을 제어할 수 있어 극한하중이 증가한 것으로 사료

된다. 한편, 교차가새형 선행 공법을 적용한 시스템비계는 중량(작업발판 제외)이 후행 공법 대비 21.2%(0.5kN) 감소한 것으로 파악되었다. 이러한 선행 공법을 적용한 비계의 중량 감소는 비계 제작에 소요되는 비용을 경감시킬 수 있어 경제성도 상대적으로 높은 것으로 추정된다.

여섯째, 후행 공법 대각재(가새재)의 세장비는 184.4로 세장비 제한 기준(200)에 적합한 것으로 분석되었다. 그러나 교차가새형 선행 공법의 X형 가새재에 대한 세장비는 289.1로 설계기준을 초과하는 것으로 파악되었다. 비록 교차가새형 선행 공법의 X형 가새재가 세장비 기준을 초과하여도 실물실험에서 가새재에는 좌굴 등의 변형이 발생하지 않는 것으로 관찰되었으며, 구조해석결과 가새재의 최대축력(0.836kN/개) 대비 극한하중 시험에 따른 최대압축성능(2.624kN/개)의 비가 3.13으로 설계기준에서 규정하고 있는 압축재의 안전율(3이상)을 충족하는 것으로 평가되었다. 설계기준의 세장비는 강구조 부재 설계기준(하중저항계수설계법)과 건축구조기준 및 해설(2016)과 같이 강제기준이 아닌 권고 기준으로 변하고 있는 추세이다. 따라서 비계의 2차(보조)부재(예: 교차가새)가 세장비 제한기준을 초과할 경우 구조해석에 따른 해당 부재의 최대작용하중 대비 극한하중(최대압축성능)에 대한 비율(안전율)이 설계기준에서 규정하고 있는 안전율 이상이면 구조안전성이 확보될 수 있어『비계 및 안전시설물 설계기준』의 세장비 제한기준은 권고사항으로 개정이 필요하다.

마지막으로 국내 건설현장에 시스템비계의 선행 공법 도입을 위해 선행안전난간대의 구조 적합성 시험, 처짐 및 휨시험, 가새의 압축 성능시험을 통해 방호장치 안전인증고시(안)을 제시하였고, 전문가 회의 등을 거쳐 방호장치 안전인증고시(안)의 타당성을 검증하였다.

본 연구의 구조 해석 결과는 교차가새형 선행 공법의 구조안전성을 확인하는 기초자료로 활용될 수 있다. 또한, 본 연구의 실물실험 방법은 비계관련 신기술 개발을 위한 실물실험의 표준모델 개발에 유용하게 활용될 수 있을 것이며, 구조해석결과와 실물실험 결과 및 선행안전난간대의 안전인증고시 개정(안)은 시스템비계 선행 공법의 국내 실용화에 크게 기여할 수 있을 것으로 예상된다. 방호장치 안전인증 고시 개정이 당장 어렵다면 현행 방호장치 안전인증 고시 중『조립식 안전난간』의 성능기준과 시험방법 적용을 제안한다. 또한, 향후 선행 공법의 활성화를 위해 공공공사 현장의 시스템비계에 선행 공법 사용을 권장하고, 안전보건공단의 재정지원사업(클린사업)과 연계하면 건설현장의 수용성이 높을 것으로 예상된다. 이를 통해 선행 공법이 국내 건설현장에 적용될 경우 비계 설치·해체 작업 중 추락재해예방과 더불어 건설업의 경쟁력 강화에 크게 기여할 것으로 기대된다.

Key word : 선행안전난간, 선행 공법, 시스템비계, 추락재해예방, 구조성능평가

목 차

국문 요약 ····· i
표 목차 ····· viii
그림 목차 ····· x

1. 서론
1.1 연구 배경 및 목적 ····· 1
1.2 연구 내용 및 방법 ····· 3
1.3 선행연구 분석 및 연구방향 ····· 6
1.4 논문구성 ····· 11

2. 시스템비계의 일반사항 고찰
2.1 비계의 일반사항 ····· 12
2.1.1 비계의 정의와 종류 ····· 12
2.1.2 시스템비계 구성 및 특징 ····· 12
2.1.3 시스템비계의 재료 및 규격 ····· 14
2.2 시스템비계의 국내 안전기준 ····· 16
2.2.1 산업안전보건기준에 관한 규칙 ····· 16
2.2.2 안전보건기술지침 ····· 17
2.3 시스템비계의 성능시험 일반사항 ····· 20
2.3.1 수직재 성능기준 및 시험방법 ····· 20
2.3.2 수평재 성능기준 및 시험방법 ····· 22
2.3.3 가새재 성능기준 및 시험방법 ····· 23
2.3.4 연결조인트 성능기준 및 시험방법 ····· 25
2.4 시스템비계 설계 및 공사 일반사항 ····· 27
2.4.1 설계하중 및 하중조합 ····· 27
2.4.2 구조설계와 재료 및 설계기준 ····· 30
2.4.3 시스템비계 공사 일반사항 ····· 32
2.5 비계관련 국외 안전기준 ····· 34
2.5.1 일본의 안전기준 ····· 34
2.5.2 미국의 안전기준 ····· 35
2.5.3 영국의 안전기준 ····· 35
2.6 시사점 ····· 40

3. 선행공법의 국내 도입 타당성 분석
3.1 연구 필요성 ····· 41
3.2 비계작업의 중대재해 특성 ····· 45

3.2.1 건설업 중대재해 현황 ····· 45
3.2.2 건설업 비계관련 추락사망자 현황 ····· 46
3.3 안전난간의 안전기준 타당성 분석 ····· 50
3.3.1 국내 안전난간 기준 ····· 50
3.3.2 국외 안전난간 기준 ····· 51
3.4 선행공법의 시공성 및 경제성 분석 ····· 53
3.4.1 안전난간 설치공법의 시공성 비교 ····· 53
3.4.2 경제성 분석 ····· 56
3.5 소결 ····· 57

4. 구조해석을 통한 구조성능 평가
4.1 연구 필요성 및 평가방법 ····· 58
4.2 구조해석 절차 및 방법 ····· 59
4.3 구조해석 결과 ····· 63
4.4 소결 ····· 69

5. 실물실험을 통한 구조성능 평가
5.1 연구 필요성 및 평가방법 ····· 70
5.2 조립체의 구성 및 실험방법 ····· 71
5.3 조립체 실험결과 ····· 73
5.4 소결 ····· 75

6. 성능시험을 통한 선행안전난간의 안전인증고시 개정(안) 제시
6.1 연구 필요성 ····· 76
6.2 성능시험 방법 ····· 76
6.2.1 구조 적합성 시험 ····· 76
6.2.2 처짐 및 휨시험 ····· 77
6.2.3 가새의 압축시험 ····· 78
6.3 시험체 및 시험장비의 제원 ····· 79
6.3.1 시험체의 제원 ····· 79
6.3.2 시험장비 및 장치의 제원 ····· 80
6.4 성능시험 결과 ····· 81
6.4.1 구조 적합성 시험 결과 ····· 81
6.4.2 처짐 및 휨시험 결과 ····· 81
6.4.3 가새의 압축시험 결과 ····· 83
6.4.4 소결 ····· 84
6.5 방호장치 안전인증고시 개정(안) 제시 ····· 86
6.5.1 용어의 정의 ····· 86
6.5.2 조립식 비계용 부재의 종류 및 분류 ····· 86

6.5.3 시스템비계용 부재의 재료 ····· 87
6.5.4 시스템비계용 선행 설치재의 구조 ····· 87
6.5.5 시스템비계용 선행 설치재의 시험성능 기준과 방법 ····· 89
6.5.6 시스템비계용 부재의 추가 표시 ····· 92
6.6 방호장치 안전인증 고시 개정(안) 타당성 검토 ····· 93

7. 결론 및 향후 연구방향
7.1 결론 ····· 98
7.2 향후 연구방향 ····· 101

참고문헌 ····· 102

Abstract ····· 105

표 목차

<표 1-1> 연구의 내용, 범위 및 방법 ····· 4
<표 1-2> 비계관련 재해예방 선행 연구 ····· 6
<표 1-3> 비계관련 구조성능 연구 ····· 8
<표 1-4> 비계관련 안전인증 연구 ····· 9
<표 2-1> 강관비계와 시스템비계의 특징 ····· 14
<표 2-2> 시스템비계의 안전인증기준 법령 ····· 15
<표 2-3> 시시템비계 부재의 재료 ····· 15
<표 2-4> 시스템비계의 안전기준 ····· 16
<표 2-5> 시스템비계 설치·해체 안전작업절차 ····· 18
<표 2-6> 수직재의 성능기준 ····· 20
<표 2-7> 시스템비계용 수평재의 시험 성능기준 ····· 22
<표 2-8> 가새재의 성능 ····· 23
<표 2-9> 연결조인트의 성능 ····· 25
<표 2-10> 비계의 작업하중 ····· 27
<표 2-11> 보호망 등의 충실률에 따른 풍력저감 계수 ····· 28
<표 2-12> 안전시설물의 기본풍력계수 ····· 28
<표 2-13> 비계 위치에 대한 보정계수 ····· 29
<표 2-14> 비계의 하중조합 및 허용응력증가계수 ····· 30
<표 2-15> 시스템비계 각 부재의 연결조건 ····· 31
<표 2-16> 비계 및 안전시설물 부속품의 안전율 ····· 31
<표 2-17> 비계의 안전기준(일본) ····· 34
<표 2-18> 비계의 안전기준(미국) ····· 35
<표 2-19> 비계의 안전기준(영국) ····· 36
<표 3-1> 시스템비계의 임대조건 ····· 42
<표 3-2> 건설업 전체 대비 비계관련 사고사망자 현황(2016-2018) ····· 45
<표 3-3> 건설업의 발생형태별 사고사망자 현황(2016-2018) ····· 45
<표 3-4> 비계종류별 추락사망자 현황(2016-2018) ····· 46
<표 3-5> 공사금액별 추락사망자 현황(2016-2018) ····· 47
<표 3-6> 추락높이별 추락사망자 현황(2016-2018) ····· 48
<표 3-7> 국적별 추락사망자 현황(2016-2018) ····· 48
<표 3-8> 재해원인별 추락사망자 현황(2016-2018) ····· 49
<표 3-9> 안전난간의 안전기준 ····· 50
<표 3-10> 안전난간 설치 공법 비교 ····· 54
<표 3-11> 현행공법과 선행공법(X형)의 경제성 비교 ····· 56
<표 3-12> 시스템비계 1단의 총중량과 연결부 비교 ····· 56

<표 4-1> 부재의 물성치 및 제원 ····· 61
<표 4-2> 비계에 작용하는 하중 ····· 62
<표 4-3> 하중조합 ····· 63
<표 4-4> 후행공법과 선행공법(X형)의 최대응력비 비교 ····· 64
<표 4-5> 후행공법과 선행공법(X형)의 구조성능 비교 ····· 64
<표 4-6> 교차가새의 극한하중 ····· 68
<표 4-7> 강구조설계의 세장비 제한 기준 ····· 69
<표 5-1> 후행공법과 선행공법(X형)의 극한하중과 총중량 비교 ····· 74
<표 6-1> 선행안전난간대의 구조 적합성 시험 기준 ····· 76
<표 6-2> 선행안전난간대의 처짐 및 휨시험 ····· 77
<표 6-3> 틀형 비계용 교차가새 시험기준 ····· 78
<표 6-4> 선행안전난간대의 압축시험(상부난간대 해체 상태) ····· 79
<표 6-5> 시험 장비 및 장치 제원 ····· 80
<표 6-6> 선행안전난간대의 구조 적합성 평가 ····· 81
<표 6-7> 선행안전난간대의 상부난간대 처짐시험 결과 ····· 82
<표 6-8> 선행안전난간대의 상부난간대 파괴시험 결과 ····· 83
<표 6-9> 상부난간대 미부착 상태의 선행안전난간대의 압축시험 결과 ····· 84
<표 6-10> 성능시험 결과표 ····· 84
<표 6-11> 조립식 비계용 부재의 종류 및 분류 ····· 86
<표 6-12> 시스템비계용 부재의 재료 ····· 87
<표 6-13> 선행 설치재의 시험 성능기준 ····· 89
<표 6-14> 선행공법의 시스템비계와 틀형 비계의 주요 구조부재 비교 ····· 91
<표 6-15> 띠장틀과 작업발판의 시험성능기준 비교 ····· 91

그림 목차

[그림 1-1] 교차가새형 선행안전난간을 적용한 시스템비계의 설치 순서 ····· 2
[그림 1-2] 연구수행 과정 ····· 5
[그림 2-1] 시스템비계 구성(예) ····· 13
[그림 2-2] 소규모 건설현장의 시스템비계 설치 모습(예) ····· 13
[그림 2-3] 시스템비계 설치 순서도(KOSHA GUIDE C-90-2018) ····· 19
[그림 2-4] 수직재의 압축하중 시험 ····· 21
[그림 2-5] 접합부 인장하중 시험 ····· 21
[그림 2-6] 수평재의 휨하중 시험 ····· 22
[그림 2-7] 결합부 전단하중 시험 ····· 23
[그림 2-8] 가새재의 압축하중 시험 ····· 24
[그림 2-9] 가새재의 인장하중 시험 ····· 24
[그림 2-10] 연결조인트의 압축하중 시험 ····· 25
[그림 2-11] 연결조인트의 인장하중 시험 ····· 26
[그림 2-12] 연결조인트의 휨하중 시험 ····· 26
[그림 2-13] 구조설계 순서도 ····· 30
[그림 2-14] X종과 Y종의 선행안전난간대 ····· 34
[그림 2-15] 보조발판을 이용한 선행안전난간 설치방법(예시) ····· 36
[그림 2-16] 수평 연장 선행안전난간 설치 방법 ····· 37
[그림 2-17] 강관비계용 프레임형 선행 안전난간 설치 방법(예시) ····· 38
[그림 2-18] 보조발판을 이용한 상부 안전난간 설치방법(예시) ····· 39
[그림 2-19] 밀어올림 도구를 이용한 틀형 선행안전난간 설치방법(예시) ····· 39
[그림 2-20] 임시브라켓을 이용한 선행안전난간 설치방법(예시) ····· 39
[그림 2-21] 텔레스코픽 타입(상승식) 선행안전난간 설치방법(예시) ····· 39
[그림 2-22] 조립완성체 선행안전난간 설치방법(예시) ····· 39
[그림 3-1] 강관비계 설치·해체 작업 중 추락위험 ····· 42
[그림 3-2] 시스템비계 설치·해체 작업 중 추락위험 ····· 43
[그림 3-3] 시스템비계 설치 중 추락 사망 사례(1) ····· 43
[그림 3-4] 시스템비계 설치 중 추락 사망 사례(2) ····· 44
[그림 3-5] 시스템비계 붕괴 사례 ····· 44
[그림 3-6] 건설업 전체 대비 비계관련 사고사망자 현황(2016-2018) ····· 45
[그림 3-7] 건설업 사고사망자의 발생형태별 현황(2016-2018) ····· 46
[그림 3-8] 비계종류별 추락사망자 점유율 현황(2016-2018) ····· 47
[그림 3-9] 강관비계와 시스템비계의 작업종류별 추락 사망자 현황(2016-2018) ··· 48
[그림 3-10] 중간난간으로 인정하는 2개의 대각재 종류 ····· 51
[그림 3-11] 비계 종류별 선행안전난간(예) ····· 52
[그림 3-12] 시스템비계의 선행안전난간 종류 ····· 52

[그림 3-13] 교차가새형 안전난간의 구조 ····· 53
[그림 3-14] 시스템비계 1단 설치 모습 ····· 57
[그림 4-1] 시스템비계 구조도 ····· 59
[그림 4-2] 구조해석 수행과정 ····· 60
[그림 4-3] 시스템비계의 구조해석 모델링 ····· 60
[그림 4-4] 선행안전난간의 X형 가새 교차부와 상세사진 ····· 61
[그림 4-5] 구조해석 모델링의 경계조건 ····· 62
[그림 4-6] 시스템비계 수직재의 최대축력 ····· 65
[그림 4-7] 시스템비계 잭베이스의 최대축력 ····· 65
[그림 4-8] 시스템비계의 최대반력 ····· 65
[그림 4-9] 시스템비계의 최대변위도 ····· 66
[그림 4-10] 시스템비계의 X방향 최대변위도 ····· 66
[그림 4-11] 시스템비계의 Y방향 최대변위도 ····· 67
[그림 4-12] 시스템비계의 가새재 최대축력 ····· 67
[그림 4-13] 교차가새의 극한하중 실험 ····· 68
[그림 5-1] 시스템비계 조립체 조립도 ····· 70
[그림 5-2] 시스템비계 실험체 모습 ····· 71
[그림 5-3] 선행공법의 교차가새재와 수직재 연결부 상세 모습 ····· 72
[그림 5-4] 후행공법 실험체의 좌굴 형상 ····· 73
[그림 5-5] 선행공법(X형) 실험체의 좌굴 형상 ····· 73
[그림 5-6] 후행공법과 선행공법(X형) 실험체의 하중-수직변위 곡선 ····· 74
[그림 5-7] 선행공법(X형)의 조립체 극한하중 실험후 연결부 상세사진 ····· 75
[그림 6-1] 시험시료(교차가새형 선행안전난간대) ····· 79
[그림 6-2] 선행안전난간대의 구조 적합성 평가 ····· 81
[그림 6-3] 선행안전난간대의 처짐시험 ····· 82
[그림 6-4] 선행안전난간대의 휨시험 ····· 82
[그림 6-5] 상부난간대 미부착 상태의 선행안전난간대 압축시험 ····· 83
[그림 6-6] 선행 설치재의 구조(참조그림) ····· 87
[그림 6-7] 1종 선행 설치재의 삼각형 개구부 공간(참조그림) ····· 88
[그림 6-8] 안전난간의 성능시험(참조그림) ····· 89
[그림 6-9] 상부난간대 제거 상태의 가새 압축 성능시험(참조그림) ····· 90
[그림 6-10] 띠장틀과 작업발판의 걸침고리 ····· 91

1. 서론

1.1. 연구배경 및 목적

국내 산업현장 사고사망자의 49.9%(2018년 기준 485명)가 건설업에서 발생하고 있으며, 그 중 대부분(59.8%, 290명)이 추락 사고에 기인하는 것으로 알려지고 있다. 또한, 추락 사고로 인한 사망자는 여러 기인물 중 비계관련이 28.3%(82명)로 가장 높은 비율을 차지하고 있다(안전보건공단, 2018). 비계(Scaffolding)는 공사 구조물(예: 건물)의 주위에 조립 및 설치하는 가설구조물(예: 작업발판과 안전난간 및 지지부재)로서 공사용 통로나 작업용 발판으로 사용된다. 건설현장에서는 일반적으로 강관비계, 시스템비계, 강관틀비계, 이동식비계, 말비계, 달비계, 달대비계, 작업발판 일체형 비계 등의 다양한 형태가 사용되고 있다(KOSHA guide C-30-2018, 2018;고용노동부・안전보건공단・부산도시공사, 2019).

비계와 관련된 선행연구들은 대부분이 비계관련 추락재해 원인 및 유형 분석과 건설현장 비계사용 실태조사에 집중되어 있다. 김향전 외와 김진호는 건설현장 추락재해의 원인 분석을 통해 추락재해 예방을 위한 제도적 개선 방안과 안전점검표를 제안하였다(김향전 등, 2010;김진호, 2009). 또한, 박종근 외와 최돈흥 외는 건설현장의 비계사용 및 안전기준 준수 실태조사를 통해 추락재해 예방을 위한 시스템비계 활성화 방안과 안전지도점검 방안을 연구하였다(박종근, 2010, 2015;최돈흥 등, 2011). 한편, 최근에는 가변형 안전발판 개발(이정석 등, 2017), 가설기자재의 품질관리 및 개선(정진우 등, 2019), 선행 안전난간 설치 공법(산업안전보건연구원, 2019)과 같은 비계의 기술적 부분에 대한 연구가 진행되고 있다.

국내 건설현장에는 강관비계가 널리 사용되어 왔으나 최근 들어 추락재해 위험이 상대적으로 낮은 시스템비계로 대체되고 있다. 강관비계는 강관을 강관조인트와 클램프를 이용하여 조립하는 비계로 소규모 건설현장에서 주로 사용되어 왔다. 시스템비계는 비계의 작업발판, 수직재, 수평재(안전난간 포함) 및 가새 등이 규격화되어 있어 강관비계에 비해 균일 시공이 가능하여 안전난간 미설치로 인한 추락위험성이 낮은 것으로 알려져 있다(박종근, 2010, 2015). 강관비계를 사용하는 소규모 건설현장에서는 작업시간과 비용을 줄이기 위해 작업발판 또는 안전난간을 설치하지 않거나 작업의 편의를 위해 설치된 안전난간을 임의 해체하여 작업 중 추락하는 재해가 지속적으로 발생하고 있다(김향전 등, 2010;김진호, 2009). 그로 인해, 고용노동부와 안전보건공단은 시스템비계 활성화를 위해 2013년부터 건설업 클린사업장 조성지원 사업을 추진해 오고 있다. 클린사업장 조성지원 사업은 소규모 건설현장의 외부비계를 시스템비계로 설치할 경우 강관비계와 시스템비계의 설치비용 차액을 보조해 주는 사업이다. 또한, 고용노동부와 국토교통부는 건설업 추락사고 방지대책의 일환으로 2019년부터 공공공사에 시스템비계 사용을 의무화하고 있다.

시스템비계는 강관비계에 비해 상대적으로 추락위험이 낮으나 시스템비계를 설치・해체할 때 여전히 작업자가 추락위험에 노출될 수 있는 한계점이 있다. 국내 건설현장

의 경우 시스템비계 설치 시 작업발판과 안전난간이 설치된 안전한 위치에서 상부의 작업발판을 조립한다. 그리고 난 후, 작업자는 상부 작업발판으로 이동한 후 작업발판 단부에 설치될 안전난간 등 자재를 인력으로 운반하여 안전난간을 설치(일명 후행 안전난간 설치 공법 또는 안전난간 후행공법, 이하 “후행공법”이라 함)한다. 따라서 안전난간이 설치될 때까지는 안전난간이 없는 작업발판에서 작업이 이루어져 작업발판 단부로 추락할 위험이 있다. 이러한 위험을 예방하기 위해 작업자가 비계를 설치할 때 안전대 부착설비를 먼저 설치한 후 안전대를 걸고 작업하도록 규정하고 있다. 하지만 해당 설비 설치는 현실적으로 어렵거나, 해당 설비를 설치하는 작업 자체의 위험이 있다. 또한, 작업자가 안전대 부착설비에 안전대를 걸고 작업하더라도 해당 설비가 작업발판 부위(작업자의 허리보다 낮은 위치)에 있는 경우가 많아 추락사고 시 안전대를 착용했음에도 부상의 위험이 있다.

비계 설치・해체 작업 시 추락재해의 근원적 예방을 위해 작업발판 설치 전 안전난간을 미리 설치하는 선행 안전난간 설치 공법(일명 안전난간 선행공법)의 도입이 필요하다. 선행 안전난간 설치 공법(이하 “선행 공법”이라 함)은 [그림 1-1]과 같이 3단계로 비계를 안전하게 설치할 수 있다. 먼저, 하부 작업발판에서 상부 작업발판이 설치될 단부에 안전난간을 미리 설치(1단계)한다. 그리고 안전난간이 설치된 상태에서 상부 발판을 설치(2단계)한다. 마지막으로, 안전난간이 설치된 작업발판으로 이동하여 안전하게 작업(3단계)을 수행한다. 교차가새형 선행 공법은 현행 시스템비계(Wedge 형태)의 수평 안전난간대(2단)와 가새(대각재)를 교차가새형 선행안전난간대로 대체하여 설치할 수 있다.

1단계: 상부 선행안전난간 설치　2단계: 상부 작업발판 설치　3단계: 상부 작업발판으로 이동

[그림 1-1] 교차가새형 선행안전난간을 적용한 시스템비계의 설치 순서(박주동 등, 2020)

본 연구는 선행공법의 국내 건설현장 도입을 위해 비계에 대한 국내 실태 분석, 국내・외 제도 분석, 경제성 분석 등을 통해 선행 공법의 도입 타당성을 종합적으로 분석한후 교차가새형 선행 공법과 후행 공법에 대해 구조해석과 실물실험을 통해 안전성을 검증하고, 선행안전난간에 대한 방호장치 안전인증 고시 개정(안)을 제시하고자 한다.

1.2 연구의 내용 및 방법

본 연구는 건설현장의 시스템비계 등 비계에서 발생하는 추락재해예방을 위해 안전난간 선행 공법에 대한 국내 도입을 연구의 목적으로 하고 있다. 이러한 연구 목적을 달성하기 위한 연구 내용, 범위 및 방법은 다음과 같으며, 개략적인 연구의 흐름을 도식화 하면 [그림 1-2]와 같다.

첫째, 비계와 관련된 국내·외 법령 및 안전기준에 대한 선행연구 등 문헌을 고찰하고, 분석하는 것이다. 비계의 일반사항과 시스템비계의 안전기준, 설계기준 및 시공에 대한 세부적인 기준과 국내·외 비계 안전기준을 비교·분석 하였다.

둘째, 선행 공법의 국내 도입 타당성 분석을 위해 국내 비계작업의 실태와 문제점을 분석하고, 최근 3년간 비계작업의 중대재해 특성에 대해 상세 분석을 하였다. 이를 토대로 비계의 안전난간과 관련된 안전기준을 비교 분석하였다. 선행 공법의 종류별 시공성과 경제성 분석을 통해 건설현장의 수용성이 높은 공법을 제시하였다.

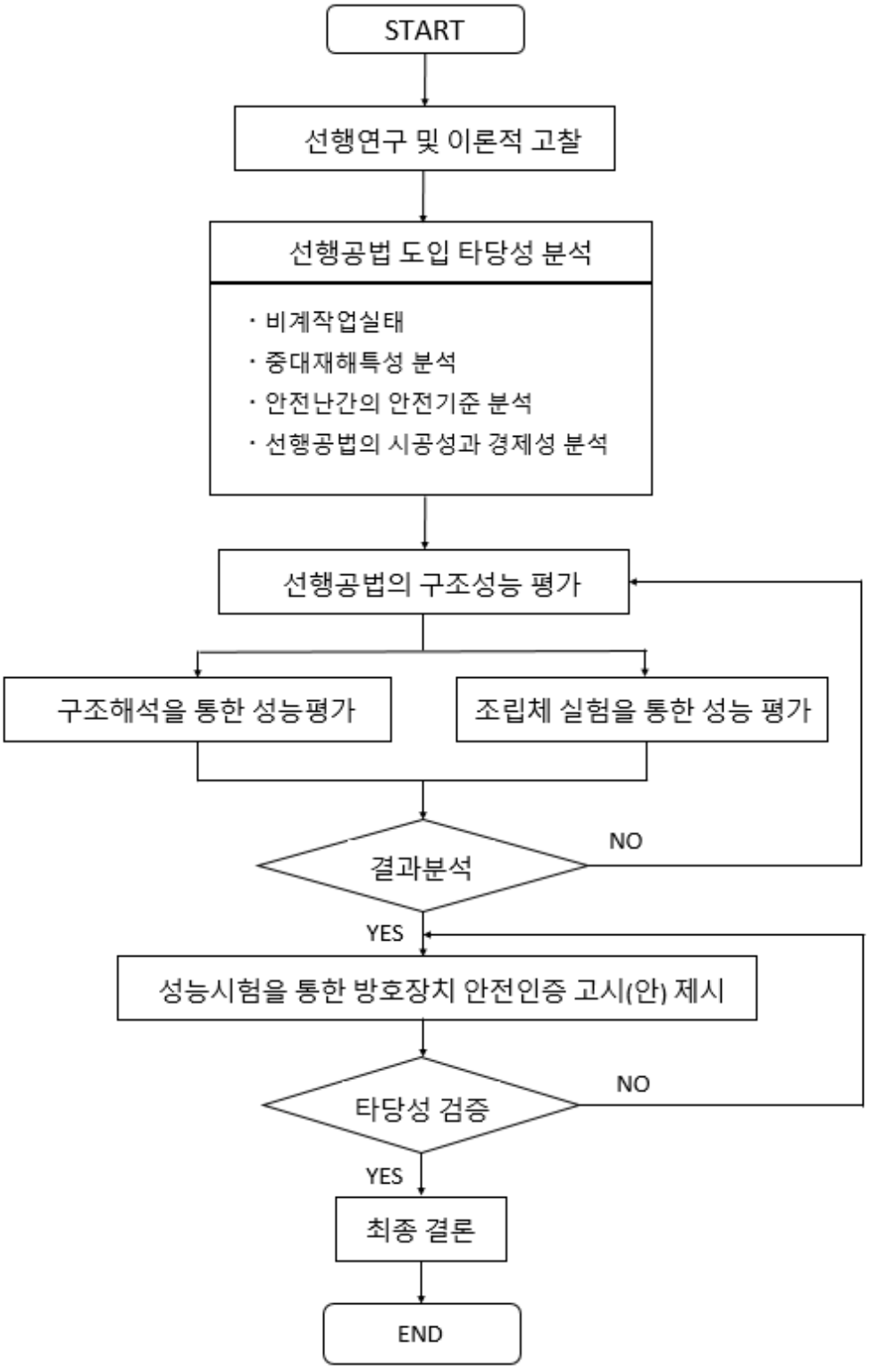
셋째, 비계 및 안전시설물 설계기준에 따라 교차가새형 선행 공법과 후행 공법을 적용한 시스템비계(동일 규모)에 대한 구조해석(선형해석)을 통해 교차가새형 선행 공법이 설계기준에 적합한지와 교차가새형 선행공법과 후행 공법의 최대응력비, 최대변위 등을 분석하여 구조성능을 비교 평가하였으며, 교차가새재의 세장비 제한 기준 만족 여부를 평가하였다.

넷째, 소규모 건축현장(5층 이하)에서 일반적으로 적용하는 가새재 미설치 조건의 후행 공법과 교차가새형 선행 공법을 적용한 시스템비계 조립체(전체 높이 6.575m, 수직방향 3단)의 극한하중 시험을 통해 구조성능을 비교 평가하였다. 또한, 교차가새형 선행 공법의 시스템비계 전체 좌굴 발생 시 가새재의 좌굴 발생 여부를 확인하였고, 현행 설계기준의 세장비 제한 기준의 적정성에 대해 평가하였다.

다섯째, 선행안전난간대의 성능시험을 통해 안전인증고시 개정(안)을 제시하였다. 이를 위해 개별 부재인 선행안전난간대의 구조적합성시험, 처짐 및 휨시험, 가새의 압축시험을 실시(각 3회)하여 성능시험기준을 마련한후 전문가 회의를 통해 안전인증고시 개정(안)에 대한 타당성을 검토하여 안전인증고시 개정(안)을 제시하였다. 개정(안)은 크게 용어의 정의, 조립식 비계용 부재의 종류 및 분류, 부재의 재료, 선행안전난간대의 구조, 성능시험 기준과 방법 및 부재의 추가 표시로 구성하였다. 구체적인 연구내용과 범위 및 방법은 <표 1-1>과 같다.

<표 1-1> 연구의 내용, 범위 및 방법

연구내용	연구범위 및 방법
비계관련 자료조사 및 분석	▸선행연구 분석 ▸비계의 일반사항 조사 및 분석(국내 법령, 기술기준 등)
선행공법의 도입 타당성 분석	▸국내 건설현장의 비계작업 실태 분석 ▸최근 3년간 비계작업 중대재해 특성 분석 ▸안전난간의 안전기준 분석 ▸선행공법의 시공성과 경제성 분석
구조해석 성능평가	▸설계기준에 따른 시스템비계(높이 31m)의 선행공법과 후행공법에 대한 구조해석(선형해석)을 통한 성능 평가 ·각 부재의 응력이 허용응력 범위 이내 인지와 선행공법과 후행공법의 최대응력비, 최대변위 등 구조성능 비교 평가 ·교차가새재의 세장비 제한 기준 만족 여부 평가
실물실험 성능평가	▸선행공법과 후행공법을 적용한 조립체(높이 6.575m)의 극한하중 시험을 통한 성능 평가 ·선행공법과 후행공법의 극한하중 비교 평가 ·전체좌굴 발생 시 가새재의 좌굴 발생 여부 평가
안전인증 고시 개정(안) 제시	▸선행안전난간대의 성능시험을 통한 안전인증 고시 개정(안) 제시 ▸제시된 개정(안)에 대한 전문가 회의를 통한 타당성 검토


START
선행연구 및 이론적 고찰
선행공법 도입 타당성 분석
・비계작업실태
・중대재해특성 분석
・안전난간의 안전기준 분석
・선행공법의 시공성과 경제성 분석
선행공법의 구조성능 평가
구조해석을 통한 성능평가
조립체 실험을 통한 성능 평가
결과분석
NO
YES
성능시험을 통한 방호장치 안전인증 고시(안) 제시
타당성 검증
NO
YES
최종 결론
END

[그림 1-2] 연구수행 과정

1.3 선행연구 분석 및 연구방향

1.3.1 선행연구 분석

본 연구의 이론적 배경은 비계 관련 재해예방, 구조성능, 안전인증으로 크게 분류할 수 있다. 기존 연구의 동향을 고찰함으로써 본 연구의 비계 설치 시 안전난간을 미리 설치하고, 해체 시 안전난간을 나중에 해체할 수 있는 선행 안전난간 설치 공법의 선정, 개발 및 구조성능 평가의 객관적인 방법을 검토하고자 한다. 따라서 본 절에서는 3가지 연구 동향을 파악하여 연구의 방향성을 설정하고자 하였다.

가. 비계 관련 재해예방 연구

비계 관련 재해예방과 관련된 선행연구는 강관비계, 시스템비계, 틀형비계 등의 연구를 대상으로 하였다. 대표적인 연구로는 <표 1-2>와 같다. 비계관련 재해예방 연구는 비계의 띠장 간격 개선, 비계 및 작업발판의 재해발생원인 분석과 기준 개선 연구, 시스템비계 설치·사용 실태조사와 시스템비계 활성화 방안, 길이조절 안전발판 개발 연구 등 비계가 조립된 이후 추락위험에 대한 분석과 개선방안에 관한 연구에 집중하고 있다.

<표 1-2> 비계 관련 재해예방 선행 연구(계속)

연구자 (연도)	제목	연구내용
오부진 등 (2010)	LNG 화물창 비계 시스템의 구조해석 및 진동 특성	LNG 운반선 화물창 비계시스템의 적재하중에 따른 구조해석과 진동특성 분석
이수현 등 (2017)	강관비계의 수직 띠장 간격 별 안전성 검토를 위한 해석적 연구	강관비계 띠장 간격에 따른 구조해석을 통해 최소 띠장 간격 개정(1.5m→1.8m) 의견 제시
김진호 (2009)	건축 비계공사의 재해사고 사례분석을 통한 재해 저감방안 고찰	건축 비계공사 재해사례분석을 통한 재해발생 요인과 유형을 파악하고, 유사작업 시 재해 최소화 방안 제시
박종근 등 (2010)	국내 건설현장의 시스템비계 사용 실태조사(Ⅰ)	설문조사 및 심층면접을 통해 국내 건설현장의 시스템비계 설치·사용 실태를 파악하고, 효과적인 시스템비계 도입 활성화 방안 제시
박종근 (2015)	국내 건설현장의 시스템비계 사용 현황 분석(Ⅱ)	2009년과 2013년의 국내 건설현장 시스템비계 설치·사용 실태 비교분석을 통해 시스템비계 도입 활성화 방안 제안

<표 1-2> 비계 관련 재해예방 선행 연구

연구자 (연도)	제목	연구내용
유현동 (2014)	소규모 건설현장 떨어짐 사망재해 저감방안 연구(비계 및 작업발판 중심)	비계 및 작업발판 관련 재해발생 원인 분석에 따른 제도개선 방안 제시
고성석 등 (2011)	실태조사를 통한 작업발판 사용작업의 위험성 평가	작업발판의 사용 현황 및 사용형태와 사용·설치상의 근본적 문제점 파악 및 잠재위험요소 규명을 통해 작업발판 사용작업의 위험성을 평가
최돈흥 등 (2011)	쌍줄비계 작업발판 안전기준에 따른 사용 실태조사	쌍줄비계가 설치된 강재작업발판의 안전기준 준수 실태조사 결과 제시를 통한 현장 지도·점검 기초자료 제공
고동우 등 (2014)	안전사고 감소를 위한 비계용 길이조절 안전발판 개발	다양한 장선 간격에서도 고정할 수 있는 길이조절 안전발판 개발

나. 비계 관련 구조성능 연구

비계 관련 구조성능 연구에 대한 국·내외 연구는 <표 1-3>과 같으며, 시스템동바리는 시스템비계의 수직재와 수평재의 연결방식과 구조적 특성이 유사하기 때문에 시스템동바리에 관한 구조성능 연구도 포함하였다. 국내 연구는 박민석 등(2009)의 연구에서 강관비계의 좌굴거동 실험연구가 수행되었고, 이후 시스템동바리의 수직재와 수평재 연결부 경계조건에 관한 거동분석(김경윤 등, 2017)과 연결부 휨강도와 회전강성 평가(원정훈 등, 2018), 가새 설치 여부에 따른 시스템동바리 거동 변화 연구(오병한 등, 2018) 및 가새재와 층수가 시스템동바리 극한 거동에 미치는 영향에 대한 연구(이형동, 2019)가 있었다. 해외 연구는 구조물의 기하하적 형상과 단계적 하중이 조립된 비계의 전체 좌굴 강도에 미치는 영향 분석 연구(J.L. Peng, S.L. Chan, C.L. Wu, 2007), 비계의 시스템단위 전체에 대한 구조 성능 평가를 위한 구조모델링 기법연구(T.Chandrangsu, K.J.R.Rasmussen, 2009), 구조해석 및 실물실험으로 편심이 비계의 좌굴 성능에 미치는 영향 분석(J.L. Peng, K.H. Chen, S.L. Chan, W.T. Chen, 2009), 구조해석을 통한 시스템비계의 층수, 경계조건, 부재 간 회전강성 및 가새재 설치 방법에 따른 합리적인 성능평가 시험단위 근거 제시 연구(J.L. Peng, T. Yen, C.C. Kuo, S.L. Chen, 2009), 가새재가 없는 강관 조립형 비계의 구조안전성에 대한 연구(H. Liu, Q. Zhao, X. Wang, T. Zhou, D. Wang, J. Liu, Z. Chen, 2010), 수직방향 조립 단수 변화에 따른 조립된 비계의 비선형 해석을 통한 좌굴하중에 대한 평가 연구(G.P. Cimellaro, M. Domaneschi, 2017)가 있었다. 그러나 후행 공법과 선행 공법에 대한 구조해석과 실물 실험의 비교 분석 연구는 미흡한 것으로 파악되었다.

<표 1-3> 비계 관련 구조성능 연구

연구자 (연도)	제목	연구내용
박민석 등 (2009)	강관비계의 좌굴거동에 관한 실험적 연구	기존재료와 고강도 강재를 이용한 조립된 강관비계의 극한 강도 실험 평가결과 전체 구조강도는 재료의 강도보다 부재의 기하학적 제원과 가새재 유무, 부재간 연결조건 등이 주요 영향인자로 분석됨
김경윤 등 (2017)	시스템동바리의 수직재와 수평재 연결부 경계조건에 따른 거동 분석	수직재와 수평재 연결부 조건이 시스템동바리의 좌굴강도에 미치는 영향에 대해 수직재-수평재간 국부 실험과 수치해석을 통해 수직재와 수평재간 연결부의 회전강성이 존재함을 규명
원정훈 등 (2018)	시스템동바리 수직재와 수평재 연결부의 휨강도와 회전 강성 평가	웻지 연결부의 강성 수준을 파악하기 위해 수직재와 수평재를 용접한 경우의 휨강도와 회전강성 비교 분석
오병한 등 (2018)	가새 설치 여부에 따른 시스템 동바리 거동변화에 대한 해석적 연구	구조해석을 통하여 시스템동바리의 가새재 설치조건(미설치, 25%, 50%, 100%)에 따른 구조거동 변화 분석
이형동 (2019)	가새재와 층수가 시스템 동바리 극한거동에 미치는 영향	3차원 비선형 비탄성 구조해석 및 실물실험을 통해 시스템 동바리의 극한거동을 연구
J.L. Peng, S.L. Chan, C.L. Wu (2007)	Effects of geometrical shape and incremental loads on scaffold systems	구조물의 기하하적 형상과 단계적 하중이 조립된 비계의 전체 좌굴 강도에 미치는 영향 분석(해석모델 3층 단위 시스템비계)
T.Chandrangsu, K.J.R.Rasmussen (2009)	Structural modelling of support scaffold systems	비계의 시스템 단위 전체에 대한 구조 성능평가를 위한 합리적인 구조모델링 기법 연구로 실물실험을 통해 제안된 해석기법 검증 실시
J.L. Peng, K.H. Chen, S.L. Chan, W.T. Chen (2009)	Experimental and analytical studies on steel scaffolds under eccentric loads	구조해석 및 실물실험으로 편심이 비계의 좌굴성능에 미치는 영향 분석
J.L. Peng, T. Yen, C.C. Kuo, S.L. Chen (2009)	Analytical and experimental bearing capacities of system scaffolds	구조해석을 통해 시스템비계의 층수, 경계조건, 부재 간 회전강성 및 가새재 설치방식에 따른 좌굴하중변화 연구를 통해 합리적인 성능평가 시험단위 근거 제시
H. Liu, Q. Zhao, X. Wang, T. Zhou, D. Wang, J. Liu, Z. Chen (2010)	Experimental and analytical studies on the stability of structural steel tube and coupler scaffolds without X-bracing	가새재가 없는 강관 조립형 비계의 구조안전성에 대한 연구로 층수, 수직재-수평재 간 연결부 회전강성, U-head 높이 등을 변수로 각 인자 영향의 정량적 분석
G.P. Cimellaro, M. Domaneschi (2017)	Stability analysis of different types of steel scaffolds	수직방향 조립단수 변화에 따른 조립된 비계의 비선형 해석을 통한 좌굴하중에 대한 평가

다. 비계 관련 안전인증 연구

비계 관련 안전인증에 관한 연구는 <표 1-4>와 같다. 배찬우 등(2002)은 가설기자재 성능검정제도 적용현황 및 개선방안에 관한 연구를 하였고, 우광민 등(2002)은 국내·외 가설기자재 사후관리제도를 비교하는 연구를 하였다. 최근에는 조립된 가설기자재(시스템) 인증제도 및 기준에 관한 연구와 조립된 가설기자재 안전인증기준 마련 연구를 실시하였다.(산업안전보건연구원, 2018-2019).

<표 1-4> 비계 관련 안전인증 연구

연구자 (연도)	제목	연구내용
배찬우 등 (2002)	가설기자재 성능검정제도 적용현황 및 개선 방안 연구	국내 가설기자재 성능검정제도의 검정대상 품목, 검정규격의 현실 적합성 여부, 검정방법의 실효성 여부 등을 조사·분석하여 개선방안 제시
우광민 등 (2002)	국내・외 가설기자재 사후관리제도 비교 연구	국내 가설기자재 사후관리제도와 선진외국의 관련제도와의 비교·분석을 통해 현행 성능검정 합격제품에 대한 사후관리의 문제점을 분석하고, 개선 방안 제안
산업안전보건연구원 (2013)	조립식 가설기자재의 완성품에 대한 안전인증 타당성 연구	이동식비계의 단위부재와 완성품의 구조성능시험 결과 비교 분석을 통한 안전인증 기준 제시
산업안전보건연구원 (2018)	조립된 가설기자재(시스템) 인증제도 및 기준에 관한 연구	가설구조물 구성 부재에 대한 단품 인증이 아닌 부재간의 결합과 구성 방법을 포함한 가설기자재 시스템 전체 인증에 대한 제도의 도입 타당성 연구
산업안전보건연구원 (2019)	조립된 가설기자재 안전인증기준 마련 연구	조립된 가설기자재의 전체적 구조성능을 안전인증단계에서 부터 평가할 수 있고, 다양한 신제품 가설기자재의 합리적인 성능평가를 위해 조립된 가설기자재의 안전인증기준(안)과 매뉴얼(안) 마련

라. 시사점

비계 관련 재해예방연구와 구조성능 연구 및 안전인증 연구에 대한 분석결과 비계 관련 재해예방 연구는 강관비계의 작업발판과 부재의 간격 등에 대한 문제점과 개선방안에 대한 연구와 시스템비계 활성화 방안에 대해 집중하고 있으며, 비계의 구조성능 연구에서는 국내의 경우 비계의 수직재와 수평재 연결방식, 회전강성, 가새재 설치 여부와 층수 변화 등에 대한 구조적 성능 평가 연구가 있었고, 해외의 경우 비계의 시스템단위 전체에 대한 구조 성능 평가를 위한 구조모델링 기법연구, 구조해석을 통한 시스템비계의 층수, 경계조건, 부재 간 회전강성 및 가새재 설치 방법에 따른 합리적

인 성능평가 시험단위 근거 제시 연구 등 조립된 비계의 구조해석과 평가 방법에 대한 연구가 있었으며, 안전인증 연구는 조립된 가설기자재 안전인증기준 마련 연구를 실시하였다. 그러나 비계를 조립·해체하는 과정에서의 위험성과 그에 대한 실태분석 및 대책에 관한 연구는 미흡한 실정이다. 따라서 국내 건설현장에서 적용하고 있는 후행 공법(안전난간 후시공)의 사용실태, 국내 중대재해 특성 분석, 국내·외 제도 및 안전기준 분석을 통해 국내 건설현장에 적용성이 높은 기술에 대한 구조해석과 실물실험을 통해 구조안전성을 검증하고, 해당 제품이 안전인증을 받아 현장에 적용할 수 있도록 방호장치 안전인증 고시 개정(안)을 마련할 필요가 있다.

1.3.2 연구의 의의와 방향설정

가. 연구 의의

본 연구는 학술적, 실무적, 그리고 정책적 측면에 의의가 있다. 첫째, 학술적 의의는 기존 비계관련 추락재해예방 연구가 강관비계의 문제점과 작업발판, 안전난간 미설치 실태와 개선방안에 관한 연구였다. 이는 비계를 설치한 이후에 대한 문제점과 개선방안에 대한 연구로 비계 설치·해체 시 추락 위험에 대한 연구가 부족하다는 한계점이 있었다. 이에 본 연구는 국내 건설현장의 강관비계와 시스템비계의 설치・해체 작업의 실태와 사망재해 통계 분석을 통해 문제점을 도출하고 그에 대한 근원적인 대책으로 선행 안전난간 설치 공법 중 국내 건설현장에서 가장 수용성이 높은 공법에 대한 구조안전성을 평가하였다. 둘째, 실무적 의의는 현재 국내 건설현장의 비계 설치・해체 시 추락위험성이 있어 안전대 부착설비를 설치한 후 안전대를 부착하도록 규정하고 있으나, 추락예방 효과의 실효성과 현장 적용의 어려움이 있어 이를 준수하기 어렵다. 이에 국내 건설현장에 적합한 교차가새형 선행 안전난간 설치 공법을 적용할 수 있도록 기술적 방안을 제시했다는데 의의가 있다. 마지막으로, 정책적 의의는 선행안전난간 설치 공법을 국내 건설현장에 적용하기 위해서는 선행안전난간대의 안전인증 취득이 필요하지만, 현재 해당 부재의 안전인증기준이 없는 실정이다. 이를 위해 구조해석 및 조립체 실물실험를 통해 현행공법(후행공법)과 선행공법과의 구조성능 비교 분석을 통해 구조안전성 검증후 선행안전난간대의 성능시험을 실시하여 전문가 회의 등 의견 수렴후 방호장치 안전인증 고시 개정(안)을 제시하였다. 제시된 방호장치 안전인증 고시 개정(안)은 실제 방호장치 안전인증 고시 개정의 기초자료로 활용될 수 있다고 하겠다.

나. 연구의 방향설정

건설현장의 비계 설치・해체 중 추락재해를 예방하기 위해서는 현재 안전난간을 나중에 설치하는 후행공법으로는 동종・유사 재해를 막을 수 없는 실정이다. 이에 비계 설치・해체 중 추락재해를 근원적으로 예방하기 위해서는 비계 설치 시 안전난간을 미리 설치하고, 비계 해체 시 안전난간을 나중에 해체하는 선행 공법의 도입이 필요하다. 이에 따라 선행 공법의 국내 도입을 위해 선행 연구를 고찰하여 분석하고 문제점

을 도출함으로써 본 연구의 방향을 설정하였다.

1) 비계관련 재해예방 연구에서는 강관비계 작업의 실태 분석을 통해 문제점을 분석하고 설문조사 등을 수행하여 시스템비계 도입 방안에 대해 연구를 수행하였으나, 강관비계와 시스템비계의 설치・해체 중 위험성과 대책에 관한 연구는 미진한 실정이다.

2) 해외에서는 안전난간 선행공법이 적용되고 있지만, 선행공법에 대한 장단점 등의 비교분석 연구가 미흡한 실정이다.

3) 비계와 동바리 관련 품질 연구에서는 해당 제품의 성능확보를 위해 구조해석 및 조립체 실물실험을 실시하였으나, 기존 안전인증제품과 신기술 적용 제품의 성능시험을 통한 비교 분석 연구는 미흡한 실정이다.

4) 선행안전난간대의 국내 도입을 위해서는 안전인증기준이 마련되어야 하나, 이에 대한 기준이 없는 실정이다.

비계관련 선행연구 고찰 결과 선행 안전난간 설치 공법의 국내 도입을 위해서는 구조성능 평가를 통해 안전성 확인후 해당 제품의 성능시험 기준을 마련할 필요가 있음을 알 수 있었다.

따라서, 본 연구에서는 국내 건설현장의 비계작업의 실태와 문제점 분석, 중대재해 특성을 조사 및 분석하여 문제점을 도출하였다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 국내・외 비계 설치・해체 작업 사례 분석과 안전기준을 분석하고 선행 공법의 시공성과 경제성을 분석하여 국내 건설현장에 가장 적합한 선행공법을 제시하고자 하였다. 또한, 경제성과 시공성이 높은 선행공법의 구조안전성 확인을 위해 후행 공법과 선행공법을 적용한 시스템비계의 구조해석과 조립체 실물실험을 실시하고자 하였다. 구조안전성 확인후 해당 선행공법을 적용한 선행안전난간대의 성능시험 실시 결과를 바탕으로 방호장치 안전인증 고시 개정(안)을 제시하고, 전문가 회의 등을 통해 해당 고시 개정(안)의 타당성을 검증하였다. 본 연구의 결과는 국내 건설현장의 비계 설치・해체 작업 시 추락재해예방과 편리하고, 안전하며, 경제적인 선행 공법의 도입을 위한 제도 개선의 기초자료로 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

1.4 논문 구성

본 연구의 구성은 총 7개 장으로 구성된다. 1장은 연구의 배경 및 목적, 연구의 내용과 방법, 선행연구 분석 및 연구방향으로 구성하였고, 2장은 비계의 일반사항 고찰로 비계의 정의와 종류, 시스템비계의 국내 안전기준, 시스템비계의 성능시험, 설계와 공사 일반사항 및 비계관련 국외 안전기준을 고찰하였다. 3장은 선행 공법의 국내 도입 타당성 분석을 위해 비계작업의 실태 및 문제점, 비계작업의 중대재해 특성, 안전난간의 안전기준 비교분석, 선행공법의 시공성 및 경제성을 분석하였다. 4장은 선행공법과 후행공법의 구조해석을 통한 구조성능을 평가하였다. 5장은 선행공법과 후행공법의 조립체 실물실험을 통해 구조성능을 평가하였다. 6장은 선행안전난간대 성능시험을 통해 선행안전난간의 방호장치 안전인증 고시 개정(안)을 제시하고, 타당성을 검증하였다. 마지막으로 7장은 연구 결과에 대한 결론과 향후 연구방향으로 구성하였다.

2. 시스템비계의 일반사항 고찰

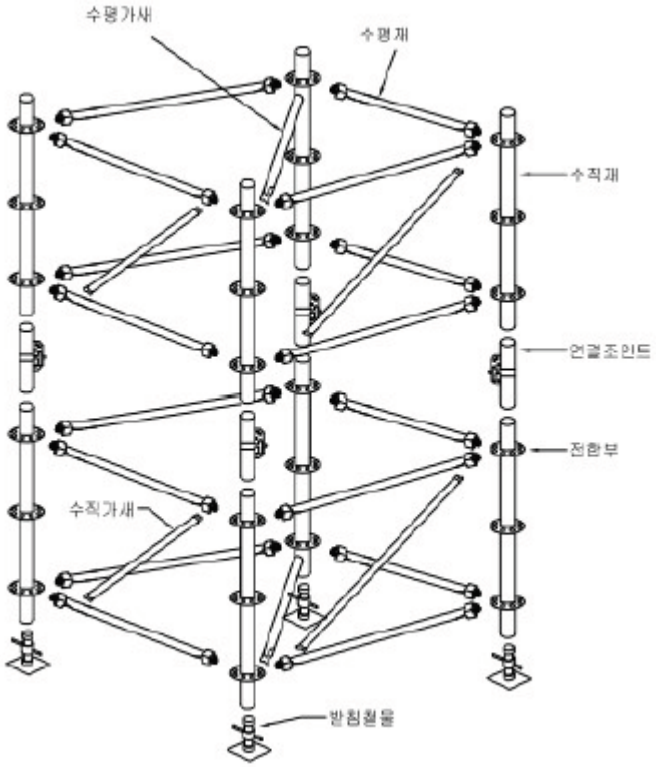
2.1 비계의 일반사항

2.1.1 비계의 정의와 종류

비계의 정의는 안전보건기술지침(강관비계 설치 및 사용안전 기술지침, KOSHA GUIDE C-30-2018)과 표준시방서(비계공사 일반사항, KCS 21 60 05:2019)에서 규정하고 있다. 비계는 “공사용 통로나 작업용 발판 설치를 위하여 구조물의 주위에 조립, 설치되는 가설구조물” 로 정의하고 있다(안전보건공단, 2018;국토교통부, 2019). 비계는 구조물작업, 마감작업 등의 작업 시 작업자가 작업장소에서 접근하여 작업할 수 있도록 설치하는 작업대와 이를 지지하는 구조물을 의미한다. 비계의 종류에는 사용재료, 설치형식, 설치구조에 따라 크게 나눈다. 사용재료에 따라 강재비계, 알루미늄비계, 목재비계 등이 있고, 설치형식에 따라 쌍줄비계, 외줄비계, 선반비계로 구분하며, 설치구조에 따라 강관비계, 시스템비계, 강관틀비계, 통나무비계, 이동식비계, 말비계, 달비계, 달대비계, 작업발판 일체형 비계 등으로 나뉜다(고용노동부・안전보건공단・부산도시공사, 2019). 현재 국내 건설현장의 구조물 공사시에는 강관비계와 시스템비계를 주로 사용하고 있다.

2.1.2 시스템비계의 구성 및 특징

시스템비계는 가설구조물 중 하나로 [그림 2-1]과 같이 수직재, 수평재, 가새재 등 각각의 부재를 공장에서 제작하고 현장에서 개별 부재를 조립하여 설치・사용하는 조립형 비계로 고소작업에서 작업자가 작업장소에 접근하여 작업할 수 있도록 설치하는 작업대를 지지하는 가설 구조물을 말한다(KOSHA GUIDE C-32-2011). 실제 소규모 건설현장에 설치된 시스템비계는 [그림 2-2]와 같이 나타내었다. 시스템비계를 구성하는 주요부재 중 수직재는 비계의 상부하중을 하부로 전달하는 부재로 비계를 조립할 때 세우는 부재이고, 수평재는 수직재의 좌굴을 방지하기 위하여 수평으로 연결하는 부재를 말한다. 가새재는 비계에 작용하는 비틀림 하중이나 수평하중에 견딜 수 있도록 수평재와 수평재, 수직재와 수직재를 연결하여 고정하는 부재이고, 접합부는 수직재에 용접으로 고정하여 수직재와 수평재 및 가새재를 연결하여 고정할 수 있게 만든 부재이다. 또한, 연결조인트는 수직재와 수직재를 연결하여 고정할 수 있게 한 부재이고, 받침철물은 수직재의 하부에 설치하여 비계의 수직 및 수평을 유지하게 하는 조절형 받침대이며, 벽 연결재는 강관, 클램프, 앵커 및 벽 연결용 철물(벽 이음재) 등의 부재를 사용하여 비계와 구조체 사이를 연결함으로써 풍하중, 충격 등의 수평 및 수직하중에 대하여 안전하도록 설치하는 버팀대를 말한다(안전보건공단, 2011;방호장치 안전인증 고시, 2020).



[그림 2-1] 시스템비계 구성(예) (안전보건공단, 2011)

(가) 수직보호망 설치전 시스템비계 설치 모습 (나) 수직보호망 설치후 시스템비계 설치 모습

[그림 2-2] 소규모 건설현장의 시스템비계 설치 모습(예)

시스템비계를 구성하는 모든 부재는 규격화되어 제작, 유통 및 사용되기 때문에 수직재와 수평재, 가새재 등의 길이를 현장에서 임의로 조절할 수 있는 강관비계에 비해 비계 설치의 완성도가 높다(박주동 등, 2020). 이는 시스템비계의 수직재와 수평재 및 가새재의 간격이 일정하여 부재를 임의로 누락하는 사례가 적고, 안전난간대 등 안전시설물의 설치율과 부재의 설치 간격 준수율이 강관비계에 비해 높은 특징이 있다. 강

관비계와 시스템비계의 특징을 비교한 자료는 <표 2-1>과 같이 나타내었다.

<표 2-1> 강관비계와 시스템비계의 특징(박주동 등, 2019)

구분	강관비계	시스템비계
구 성	수직재(강관), 수평재(강관), 가새재(강관), 안전난간(강관), 작업발판, 벽이음재, 클램프, 가설계단 ※ 수직재, 수평재, 가새재, 안전난간은 동일 규격의 강관비계 사용	잭베이스, 수직재, 수평재, 가새재, 안전난간, 작업발판, 벽이음재, 가설계단 ※ 수직재, 수평재, 가새재, 안전난간은 모두 별도의 규격화된 규격품 사용
품 질	숙련도와 경험에 따라 품질 차이가 큼	숙련도와 상관없이 품질 일정
안 전	비규격화로 안전난간 등 부재 임의 누락 가능성 ↑ 비계 설치·해체 시 추락 위험성 ↑	규격화된 부재 설치로 임의 누락 가능성 ↓ 비계 설치·해체 시 추락 위험성 ↑
관리감독	조립도 미작성 경우가 많고, 경험에 따라 형식적 점검 실시	규격화 및 조립도 작성으로 조립도에 따라 확인이 가능하여 관리감독 용이
임 대 료	시스템비계 대비 약 67~90%	강관비계 대비 약 110~150%
작 업 성	연결부 클램프 체결로 작업성이 시스템비계보다 낮음.	연결부 쐐기타입으로 체결되므로 작업성이 강관비계보다 높음.

시스템비계는 규격화된 부재를 조립도에 따라 설치되므로 설치중 및 설치후에 관리감독도 용이하다. 또한, 임대료 측면에서는 시스템비계가 강관비계 대비 약 1.1~1.5배 높지만, 규격화된 부재를 사용하고, 부재간 조립이 용이하여 작업시간 단축이 가능하다.

2.1.3 시스템비계의 재료 및 규격

시스템비계 각 부재의 재질은 방호장치 안전인증기준(고용노동부 고시 제2020-33호) 또는 KS F 8021:2010(조립형 비계 및 동바리 부재)에 적합하여야 하고, 시스템비계의 최하단에 설치되는 받침철물은 방호장치 안전인증기준 또는 KS F 8014(받침철물)의 기준에 적합하여야 한다. 또한, 산업안전보건법 제83조(안전인증)에 따라 제품의 안전에 관한 성능과 제조자의 기술능력 및 생산체계가 안전인증기준에 맞는지에 대해 종합적으로 심사하여 적합한 경우 안전인증마크(KS)를 부착·판매하도록 하여 근원적인 안전성과 신뢰성이 확보된 제품이 제조, 유통 및 사용되도록 하고 있고, 관련 법령은 <표 2-2>와 같으며, 시스템비계의 재료는 <표 2-3>과 같이 나타내었다(산업안전보건법 제83조, 2020;방호장치 안전인증 고시, 2020).

<표 2-2> 시스템비계의 안전인증기준 법령

관련 법령	관련 조항	비고
산업안전보건법	제83조부터 제92조	
산업안전보건법 시행령	제74조부터 제77조	
산업안전보건법 시행규칙	제107조부터 제123조	
방호장치 안전인증 고시	제35조부터 제36조	별표 16부터 별표17, 별표19 및 별표 21

시스템비계용 부재의 안전인증은 『안전인증 및 자율안전확인의 신고 절차에 관한 고시(노동부고시 제2009-80, 2009.12.23.)』에 따라 해당 고시 시행일부터 1년이 경과한 날(2010.12.24.)부터 시행하였으나, 신규로 안전인증 및 자율안전확인신고 대상인 제품(시스템비계 등)은 시행일부터 3개월 이후 출고되는 것부터 적용되었다. 따라서 시스템비계용 부재의 안전인증은 2011.3.23.이후 출고되는 제품부터 적용되고 있으며, 적용일 이전에 생산되어 유통되고 있는 제품에 대해서는 성능인증서 또는 시험성적서를 확인하여 사용하도록 하였다(안전인증 및 자율안전확인의 신고 절차에 관한 고시, 2009).

<표 2-3> 시스템비계 부재의 재료

부재		구성 부분	재질	
			강재	알루미늄 합금재
시스템비계	수직재	수직재 본체 및 삽입관	KS D 3566에 규정하는 STK400 또는 KS D 3568에 규정하는 SPSR400 또는 KS D 3503에 규정하는 SS400	KS D 6759에 규정하는 A 6061S
		접합부	KS D 3503에 규정하는 SS400 또는 KS D 3501에 규정하는 SPHC	
	수평재	수평재 본체	KS D 3566에 규정하는 STK400 또는 KS D 3568에 규정하는 SPSR400 또는 KS D 3503에 규정하는 SS400	
		결합부, 결합핀	KS D 3503에 규정하는 SS400 또는 KS D 3501에 규정하는 SPHC 또는 KS D 4302에 규정하는 GCD450-10	
	가새재	가새재 본체	KS D 3566에 규정하는 STK400 또는 KS D 3568에 규정하는 SPSR400 또는 KS D 3503에 규정하는 SS400	
		결합부, 결합핀	KS D 3503에 규정하는 SS400 또는 KS D 3501에 규정하는 SPHC 또는 KS D 4302에 규정하는 GCD450-10	
	연결 조인트	이음관, 이음판 및 삽입관	KS D 3566에 규정하는 STK400 또는 KS D 3501에 규정하는 SPHC 또는 KS D 3568에 규정하는 SPSR400	
		이탈방지용 핀	KS D 3503에 규정하는 SS400 또는 KS D 3501에 규정하는 SPHC	
	조절형 받침철물	나사부	KS D 3503(일반구조용 압연강재)의 SS330	
		바닥판, 받이부	KS D 3503(일반구조용 압연강재)의 SS330	
		조절너트	KS D 4302(구상 흑연 주철품)의 GCD450-10	

2.2 시스템비계의 국내 안전기준

2.2.1 산업안전보건기준에 관한 규칙

산업안전보건기준에 관한 규칙에서는 제13조(안전난간의 구조 및 설치요건), 제54조(비계의 재료)부터 제58조(비계의 점검 및 보수)까지 비계의 공통사항에 대해 규정하고 있으며, 시스템비계에 대해서는 제69조(시스템비계의 구조) 및 제70조(시스템비계의 조립 작업 시 준수사항)에서 <표 2-4>와 같이 규정하고 있다.

<표 2-4> 시스템비계의 안전기준(계속)

구분	안전기준
제13조(안전난간의 구조 및 설치요건)	- 상부 난간대, 중간 난간대, 발끝막이판 및 난간기둥으로 구성 단, 중간 난간대, 발끝막이판 및 난간기둥은 이와 비슷한 구조와 성능을 가진 것으로 대체 가능 - 상부 난간대는 바닥면·발판 등에서 90cm 이상 지점에 설치 - 상부 난간대가 120cm 이하인 경우 중간 난간대는 상부 난간대와 바닥면 등의 중간에 설치하고, 난간의 상하 간격은 60cm 이하 유지 - 발끝막이판은 바닥면 등에서 10cm 이상 유지 - 상부 난간대와 중간 난간대는 난간 길이 전체에 걸쳐 바닥면 등과 평행 유지 - 난간대는 지름 2.7cm 이상의 금속제 파이프나 그 이상의 강도가 있는 재료 - 안전난간은 구조적으로 가장 취약한 지점에서 가장 취약한 방향으로 작용하는 100kgf 이상의 하중에 견딜 수 있는 튼튼한 구조
제54조(비계의 재료)	- 변형·부식 또는 심하게 손상된 것 사용 금지
제56조(작업발판의 구조)	- 발판재료는 작업 시 하중에 견디는 견고한 구조 - 발판의 폭은 40cm 이상, 발판간 틈은 3cm 이하 - 추락의 위험이 있는 장소 안전난간 설치(곤란한 경우 추락방호망 또는 안전대 사용)
제57조(비계 등의 조립·해체 및 변경)	- 관리감독자의 지휘에 따라 작업 - 비, 눈 등 악천후 시 작업 금지 및 그 내용 게시 - 비계 연결·해체 작업 시 폭 20cm 이상 발판 설치하고, 안전대 사용 - 재료·기구 등을 올리거나 내리는 경우 달줄 또는 달포대 사용
제58조(비계의 점검 및 보수)	- 비계 조립·해체 또는 변경후 또는 작업재개 시 발판, 연결부, 손잡이, 기둥 등의 손상, 부식 등 점검 및 보수
제69조(시스템비계의 구조)	- 수직재·수평재·가새재를 견고하게 연결하는 구조 - 비계 밑단의 수직재와 받침철물은 밀착되도록 설치, 수직재와 받침철물 연결부의 겹침길이는 받침철물 전체길이의 3분의 1 이상

<표 2-4> 시스템비계의 안전기준(계속)

구분	안전기준
	- 수평재는 수직재와 직각으로 설치, 체결 후 흔들림이 없도록 견고하게 설치 - 수직재와 수직재의 연결철물은 이탈되지 않도록 견고한 구조 - 벽 연결재의 설치간격은 제조사가 정한 기준에 따라 설치
제70조(시스템비계의 조립 작업 시 준수사항)	- 비계 기둥의 밑둥에는 밑받침 철물을 사용, 고저차가 있는 경우에는 조절형 밑받침 철물을 사용 - 경사진 바닥에는 피벗형 받침 철물 또는 쐐기 등을 사용하여 수평유지 - 가공전로에 근접 작업 시 가공전로 이설 또는 절연용 방호구 설치 등 가공전로와의 접촉 방지 - 비계 내에서 이동 시 지정된 통로 사용토록 주지 - 비계 작업 시 상·하 동시 작업 금지 - 작업발판에는 제조사가 정한 최대적재하중 이내 적재하고, 최대적재하중이 표기된 표지판을 부착후 근로자에게 주지

국내 산업안전보건기준에 관한 규칙에는 비계 설치 시 안전난간을 미리 설치한 후 작업발판으로 이동해야하는 기준이 없어, 비계 조립 시 작업발판이 설치된 이후에 안전난간을 설치하고 있다. 다만, 작업의 성질상 안전난간을 설치하는 것이 곤란한 경우 추락방호망을 설치하거나 안전대를 사용하도록 규정하고 있으나, 비계 설치・해체 중 추락방호망을 설치하기 어려우며, 안전대를 착용하기 위한 별도의 안전대 부착설비의 설치도 어려운 실정이다. 이에 비계 설치・해체 시 작업자의 추락방지를 위해 작업자가 상부 작업발판으로 올라가지 않고 하부 작업발판에서 상부 작업발판 위치의 안전난간을 설치・해체 할 수 있는 선행안전난간대를 설치하도록 하는 안전기준의 개선이 시급하다.

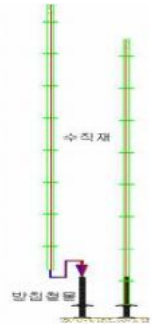
2.2.2 안전보건기술지침

시스템비계와 관련된 안전보건기술지침은『소규모 건축현장 시스템비계 안전보건작업 기술지침(KOSHA GUIDE C-90-2018)』과『시스템비계 안전작업 지침(KOSHA GUIDE C-32-2011)』에서 규정하고 있으며, 시스템비계 설치・해체 작업 시 안전작업 절차는 <표 2-5>와 같다(안전보건공단, 2018).

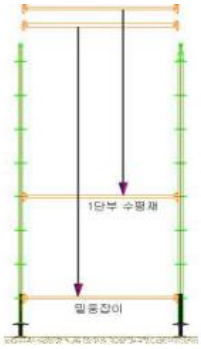
<표 2-5> 시스템비계 설치·해체 안전작업절차(KOSHA GUIDE C-90-2018)

작업절차	준수사항
설치계획서 사전검토	일반안전사항
↓	
자재하역 및 운반작업	자재하역 및 운반작업 중 준수사항
↓	
시스템비계 설치작업	받침철물(잭베이스), 벽이음 및 가새 설치 준수사항 수직재 및 수평재 설치 준수사항
↓	
안전시설 설치	통로 및 안전방망 설치 준수사항
↓	
시스템비계 해체작업	해체작업 시 준수사항

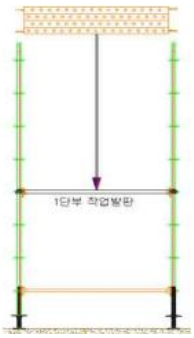
시스템비계의 설치는 기초, 1층 조립, 2층 조립, 3층 등의 순서로 조립([그림 2-3] 참조)하며, 구조물과 시스템비계의 간격은 30 ㎝ 이내로 유지하도록 하고 있다. 비계기둥의 밑둥에는 받침철물을 사용하고, 설치 지반은 침하방지조치를 하여야 한다. 작업발판의 설치는 하부발판에서 수직재, 수평재 및 안전난간을 설치 완료후에 상부발판을 설치하도록 하고 있다. 또한, 하부에서 발판 설치 완료 후에 안전대 부착설비를 설치하고, 안전대를 착용토록하여 순차적으로 상부의 수직재, 수평재, 안전난간을 설치한 후에 작업발판을 설치하여야 한다. 각 단 작업발판 사이에는 작업자의 안전한 통행을 위하여 제품사양에 적합한 가설계단을 설치해야 하며, 건물외주(4면) 길이 50m 이내마다 가설계단을 1개소씩 추가 설치하고 안전난간을 설치해야 한다. 시스템비계 해체 순서는 (1단계) 상단 안전난간 해체 (2단계) 상단 작업발판 및 가설계단 해체 (3단계) 상단 수평재 및 하단 안전난간 해체 (4단계) 하단 작업발판 해체 및 가설계단 해체 (5단계) 수직재 해체 (6단계) 받침철물(잭베이스) 해체 순으로 진행되며, 해체작업 시 작업자는 안전대를 사용하도록 규정하고 있다.



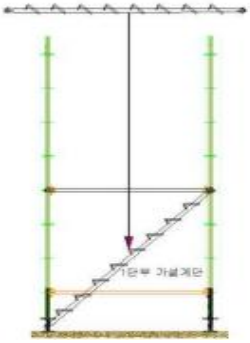
(1) 받침철물(잭베이스) 및 수직재 설치



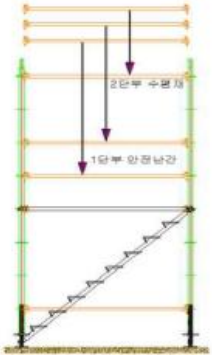
(2) 밑둥잡이(수평재) 및 1단부 수평재 설치



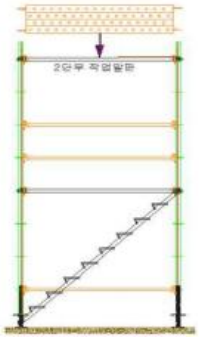
(3) 1단부 작업발판 설치



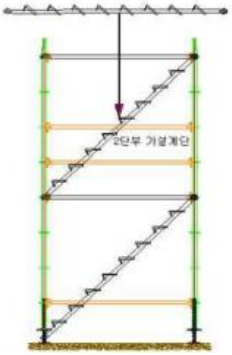
(4) 1단부 가설계단 설치



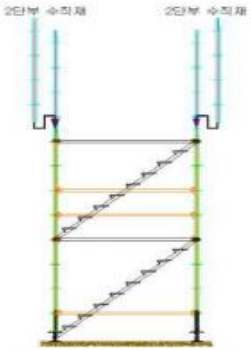
(5) 1단부 안전난간 및 2단부 수평재 설치



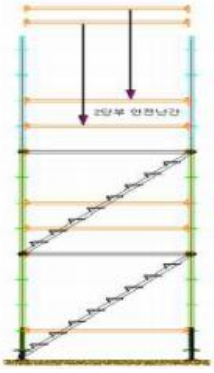
(6) 2단부 작업발판 설치



(7) 2단부 가설계단 설치



(8) 2단부 수직재 설치



(9) 2단부 안전난간 설치

[그림 2-3] 시스템비계 설치 순서도(KOSHA GUIDE C-90-2018)

2.3 시스템비계의 성능시험 일반사항

시스템비계의 성능시험은 『방호장치 안전인증 고시(고용노동부고시 제2020-33호)』에서 규정하고 있다. 시스템비계용 부재는 수직재, 수평재, 가새재 및 연결조인트로 구성되며, 구성되는 개별 부재의 시험성능기준과 시험방법은 다음과 같다.

2.3.1 수직재 성능기준 및 시험방법

가. 수직재의 성능기준

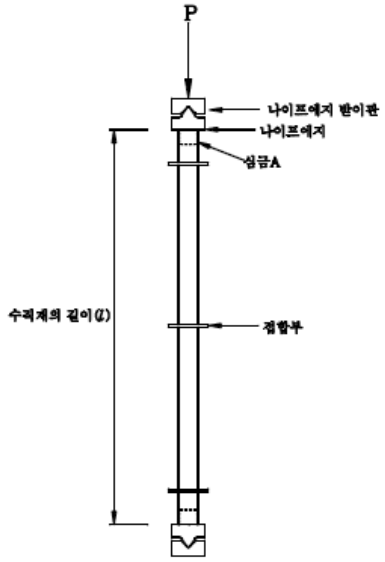
수직재의 성능기준은 <표 2-6>과 같이 크게 압축하중과 접합부 인장하중으로 구분되며, 압축하중의 성능기준은 1종과 2종으로 나뉜다.

<표 2-6> 수직재의 성능기준

항 목	길이(㎜)	성 능 (kN)	
		1종	2종
압축 하중	900 미만	160 이상	90 이상
	900 이상 1,200 미만	140 이상	70 이상
	1,200 이상 1,500 미만	120 이상	55 이상
	1,500 이상 1,800 미만	90 이상	40 이상
	1,800 이상 2,100 미만	70 이상	30 이상
	2,100 이상 2,400 미만	60 이상	25 이상
	2,400 이상 2,700 미만	50 이상	20 이상
	2,700 이상 3,000 미만	40 이상	17 이상
	3,000 이상 3,300 미만	35 이상	14 이상
	3,300 이상 3,600 미만	30 이상	12 이상
	3,600 이상	25 이상	10 이상
접합부 인장하중	-	30 이상	

나. 압축하중 시험

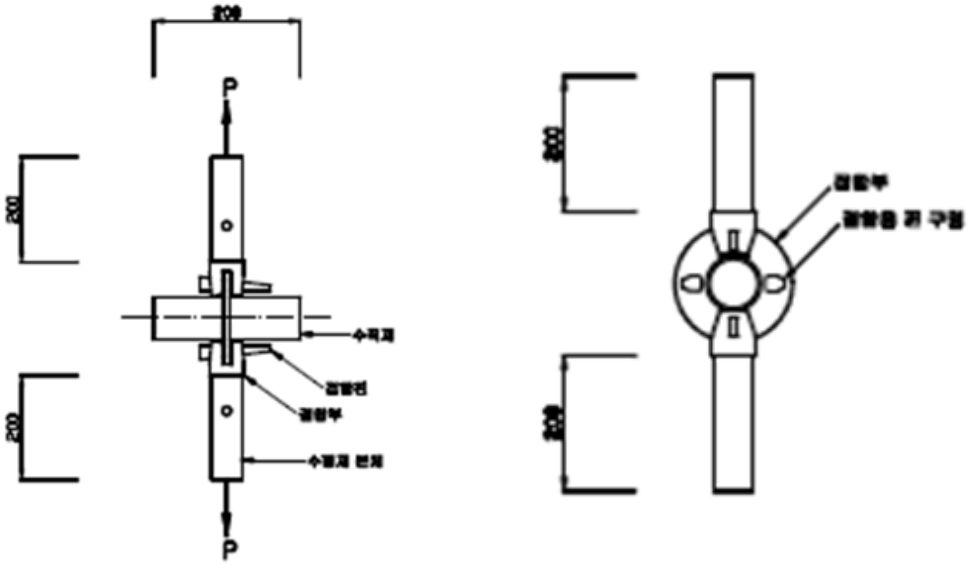
수직재의 성능기준 중 압축하중시험은 [그림 2-4]와 같이 나이프에지, 나이프에지 받이판 및 해당되는 심금A를 사용하여 시험하며, 압축 하중(P)을 가하여 하중의 최대값을 측정한다. 다만, 시험하중의 최대치가 180 kN 이상인 경우에는 180kN을 시험하중으로 한다. 이 경우 재하 속도는 분당 8㎜ 이하로 한다. 시험에 사용하는 나이프에지, 나이프에지 받이판 및 심금 A는 해당 고시의 규정에 따른다.



[그림 2-4] 수직재의 압축하중 시험(고용노동부, 2020)

다. 접합부 인장하중 시험

접합부의 인장하중 시험은 [그림 2-5]와 같이 수직재의 접합부에 2개의 수평재를 결합시킨 후 수평재의 양단에 인장력(P)을 가하여 하중의 최대값을 측정한다. 이때, 접합부에 연결된 수직재의 크기는 200㎜ 이상이어야 하며, 재하 속도는 분당 8㎜ 이하로 한다.



(가) 정면도 (나) 평면도

[그림 2-5] 접합부 인장하중 시험(고용노동부, 2020) (단위 : mm)

2.3.2 수평재 성능기준 및 시험방법

(1) 수평재의 성능기준

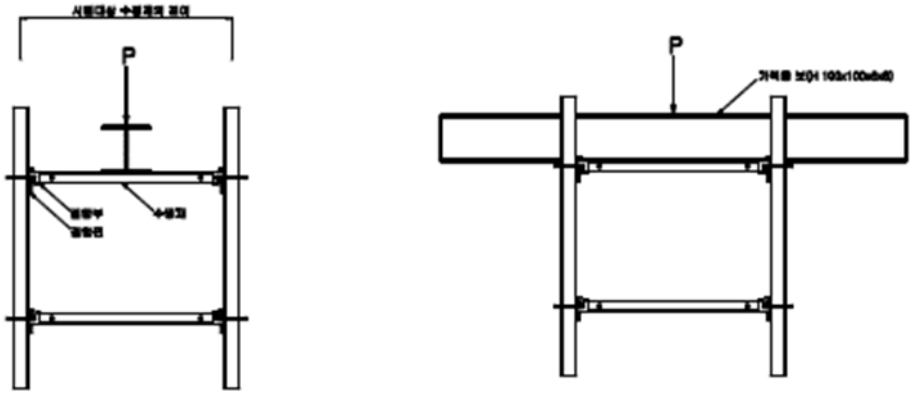
수평재의 성능기준은 <표 2-7>과 같이 크게 수직 휨 하중과 결합부 전단 하중으로 구분된다.

<표 2-7> 시스템 비계용 수평재의 시험 성능기준(고용노동부, 2020)

항 목	길이(㎜)	성 능
수직 휨 하중	600 미만	10 kN 이상
	600 이상 900 미만	8 kN 이상
	900 이상 1,200 미만	6 kN 이상
	1,200 이상 1,500 미만	5 kN 이상
	1,500 이상 1,800 미만	4 kN 이상
	1,800 이상	3 kN 이상
결합부 전단 하중	-	6 kN 이상

(2) 휨하중 시험

수평재의 휨하중 시험은 [그림 2-6]과 같이 4개의 수직재 위·아래 접합부에 각각 4개(총 8개)의 수평재를 결합한 상태에서, 상부의 평행한 2개의 수평재 중앙부에 하중을 가하여 하중의 최대값(P)을 측정하고, 이 하중시험 결과의 1/2에 해당하는 값을 구한다. 이 경우 재하 속도는 분당 8㎜ 이하로 한다.

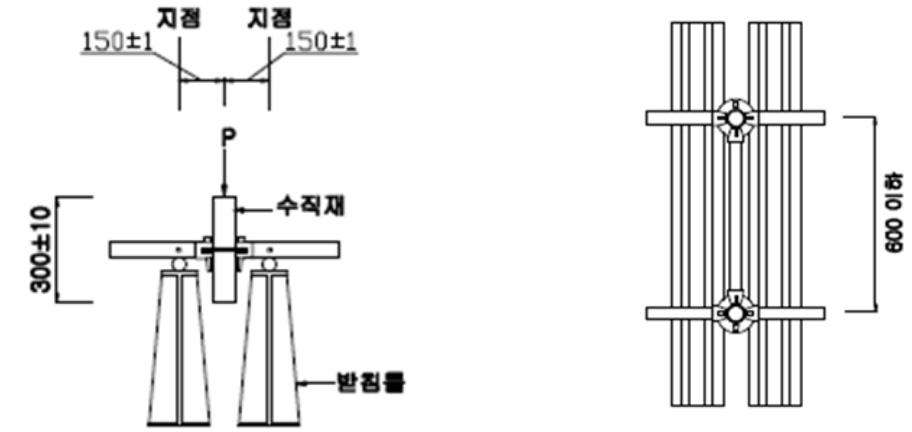


(가) 정면도 (나) 측면도

[그림 2-6] 수평재의 휨하중 시험(고용노동부, 2020) (단위 : mm)

(3) 결합부의 전단하중 시험

수평재의 결합부 전단하중 시험은 [그림 2-7]과 같이 2개의 수직재를 수평재로 결합하고, 4개의 시험대상 수평재의 결합부를 수직재 접합부에 결합한 상태에서 2개의 수직재에 균등한 하중(P)을 가하여 하중의 최대값을 측정하고, 이 하중시험 결과의 1/4에 해당하는 값을 구한다. 이 경우 재하 속도는 분당 8㎜ 이하로 한다.



(가) 정면도 (나) 평면도

[그림 2-7] 결합부 전단하중 시험 (고용노동부, 2020) (단위 : mm)

2.3.3 가새재 성능기준 및 시험방법

(1) 가새재의 성능기준

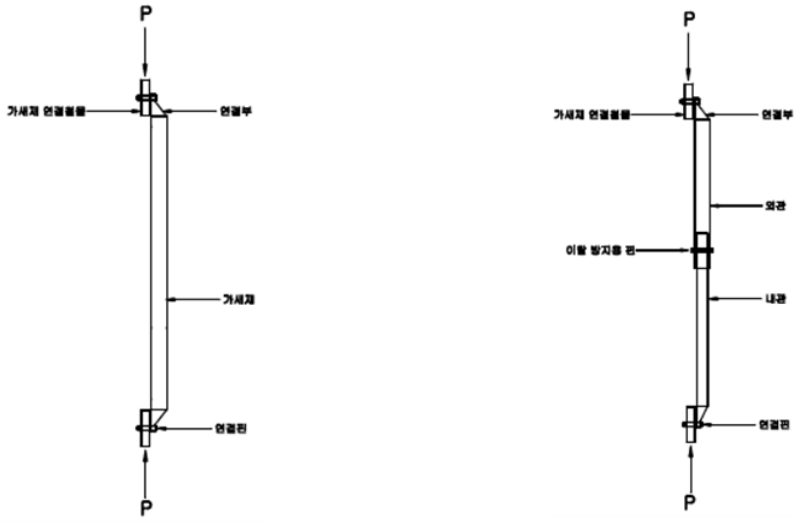
가새재의 성능기준은 압축하중과 인장하중의 성능으로 구분되며, <표 2-8>과 같다.

<표 2-8> 가새재의 성능 (고용노동부, 2020)

항 목	호칭 길이(㎜)	성 능 (kN)
압축하중	1,500 미만	15 이상
	1,500 이상 2,400 미만	12 이상
	2,400 이상	8 이상
인장하중		15 이상

(2) 압축하중 시험

압축하중시험은 [그림 2-8]과 같이 체결되는 가새재 연결철물을 사용하여 가새재를 설치하고, 압축 하중(P)을 가하여 하중의 최대값을 측정한다. 이 경우 재하 속도는 분당 8㎜ 이하로 한다.

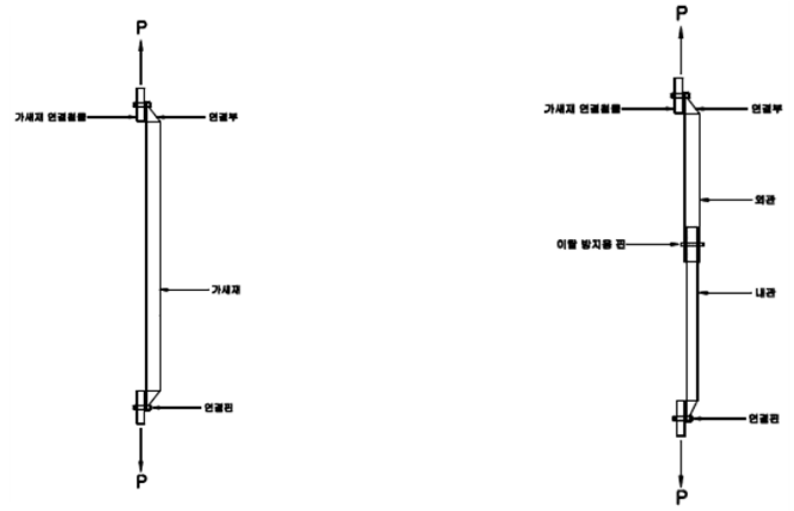


(가) 고정형 (나) 조절형

[그림 2-8] 가새재의 압축하중 시험 (고용노동부, 2020)

(3) 인장하중 시험

인장하중 시험은 [그림 2-9]와 같이 체결되는 가새재 연결철물을 사용하여 가새재를 설치하고, 인장하중(P)을 가하여 하중의 최대값을 측정한다. 이 경우 재하 속도는 분당 8㎜ 이하로 한다.



(가) 고정형 (나) 조절형

[그림 2-9] 가새재의 인장하중 시험(고용노동부, 2020)

2.3.4 연결조인트 성능기준 및 시험방법

(1) 연결조인트 성능기준

연결조인트의 성능기준은 <표 2-9>와 같이 압축하중, 인장하중 및 휨하중에 대한 수직재의 종류(1종 또는 2종)에 따라 성능기준을 정하고 있다.

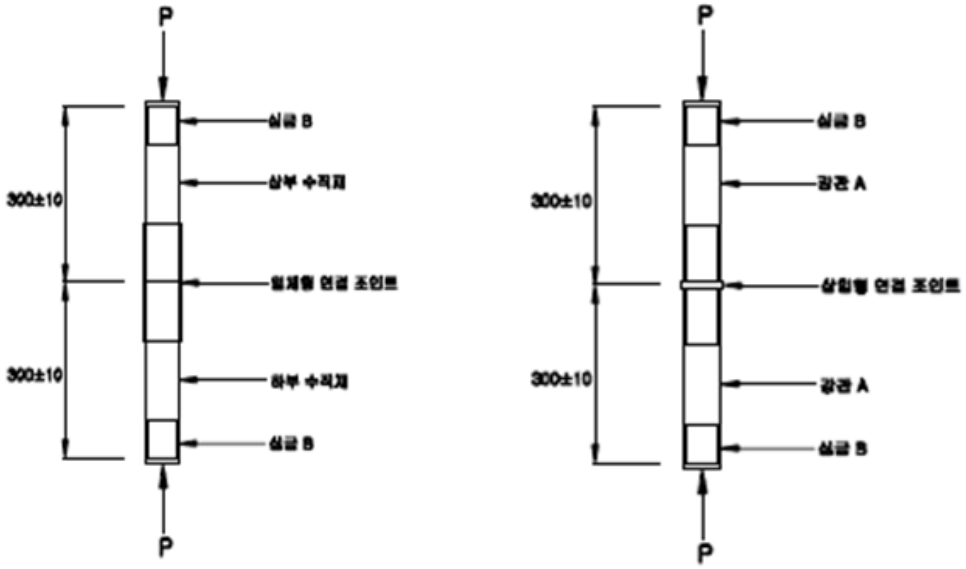
<표 2-9> 연결조인트의 성능 (고용노동부, 2020)

항 목	성 능 (kN)	
	1종 수직재 용	2종 수직재 용
압축하중	160 이상	90 이상
인장하중	20 이상	
휨하중	25 이상	20 이상

(2) 압축하중 시험

연결조인트의 압축하중 시험은 [그림 2-10]과 같이 길이가 동일한 강관A(일체형은 수직재)를 연결조인트로 결합한 뒤, 강관A의 양단에 해당되는 심금B를 삽입한 후 강관A의 양단에 압축 하중(P)을 가하여 하중의 최대값을 측정한다. 이 경우 재하 속도는 분당 8 ㎜ 이하로 한다.

(단위 : mm)

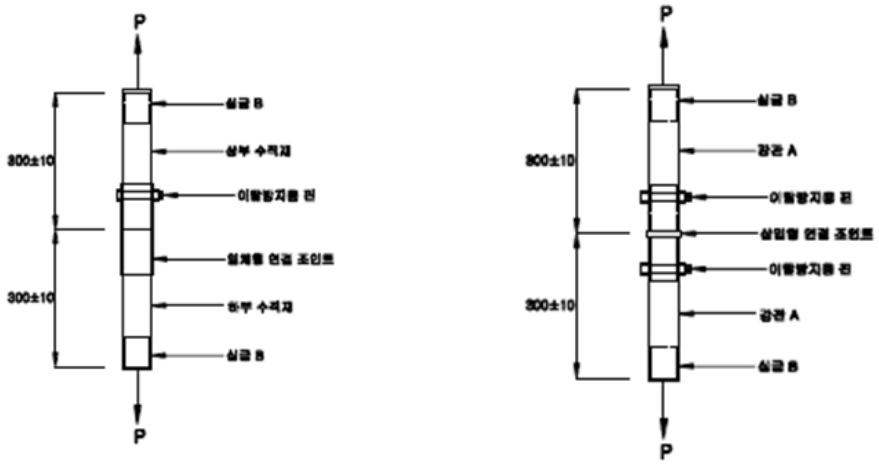


(가) 일체형 (나) 삽입형

[그림 2-10] 연결조인트의 압축하중 시험 (고용노동부, 2020)

(3) 인장하중 시험

연결조인트의 인장하중 시험은 [그림 2-11]과 같이 길이가 동일한 강관A(일체형은 수직재)를 연결조인트, 이탈방지용 핀으로 결합한 뒤, 강관A의 양단에 해당되는 심금B를 삽입한 후 강관A의 양단에 인장 하중(P)을 가하여 하중의 최대값을 측정한다. 이 경우 재하 속도는 분당 8㎜ 이하로 한다.

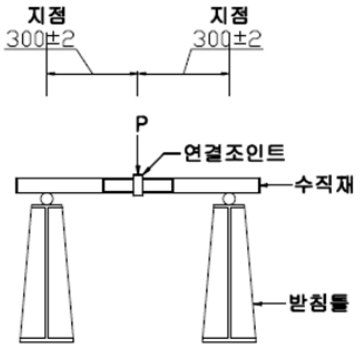


(가) 일체형 (나) 삽입형

[그림 2-11] 연결조인트의 인장하중 시험 (고용노동부, 2020) (단위 : mm)

(4) 휨하중 시험

연결조인트의 휨하중 시험은 [그림 2-12]와 같이 연결조인트와 체결되는 강관 A(일체형은 수직재) 2개를 이용하여 지점거리를 600 ± 4 ㎜로 하고 연결조인트가 지점거리의 중앙에 오도록 받침틀 위에 올려놓은 후 연결조인트에 하중(P)을 가하여 하중의 최대값을 측정한다. 이 경우 재하 속도는 분당 8㎜ 이하로 한다. 이 시험에 사용하는 강관 A 및 심금 B는 해당 고시에 따른다.



[그림 2-12] 연결조인트의 휨하중 시험 (고용노동부, 2020) (단위 : mm)

2.4 시스템비계 설계 및 공사 일반사항

건설현장의 시스템비계는 사용중 구조안전성 확보를 위해 『비계 및 안전시설물 설계기준(KDS 21 60 00 : 2020)』에 따라 구조해석후 설계하도록 규정하고 있으며, 설계하중에 대한 기준은 『가시설물 설계 일반사항(KDS 21 10 00 : 2018)』에 따르고, 세장비 제한 기준 등은 『강구조 부재 설계기준(허용응력설계법)(KDS 14 30 10 : 2019)』에서 규정하고 있다. 시스템비계의 건설 공사중 작업안전성 확보를 위한 시방서는 『비계(KCS 21 60 10 : 2020)』 및 『비계공사 일반사항(KCS 21 60 05 : 2019)』에서 규정하고 있으며, 상세 내용은 다음과 같다.

2.4.1 설계하중 및 하중조합(KDS 21 60 00 : 2020)

가. 일반사항

설계하중(Design load)은 "부재를 설계할 때 적용하는 하중으로 하중조합에 따라 결정하는 하중" 을 말하며, 시스템비계 등 안전시설물의 설계 시에는 연직하중, 풍하중, 수평하중 및 특수하중 등에 대해 검토하여야 한다(KDS 21 10 00, 2018).

나. 연직하중

비계의 연직하중에는 비계 및 작업 발판의 고정하중(D)과 작업하중(L_i)이 있으며, 작업 발판의 중량은 실제 중량을 반영하여야 하고, 0.2 kN/m^2 이상이어야 한다. 작업하중에는 근로자와 근로자가 사용하는 자재, 공구 등을 포함하며 <표 2-10>과 같이 구분하여 적용한다.

<표 2-10> 비계의 작업하중

구분	작업하중	비고
경작업	1.25 kN/m^2 이상	가벼운 공구 사용 작업 등
중작업	2.5 kN/m^2 이상	공사용 자재 적재 필요작업 등
무거운 자재 취급작업	최소 3.5 kN/m^2 이상	돌 붙임 공사 등

다. 수평하중

비계의 수평연결재나 가새, 벽 연결재의 안전성 검토는 풍하중과 연직하중의 5%에 해당하는 수평하중(M) 가운데 큰 값의 하중이 부재에 작용하는 것으로 하며, 수평하중은 비계설치 면에 대하여 X방향 및 Y방향에 대하여 각각 적용한다.

라. 풍하중

『비계 및 안전시설물 설계기준(KDS 21 60 00)』에서 규정한 사항 이외의 경우에는 KDS 41 10 15에 따르고, 가시설물의 재현기간에 따른 중요도계수(I_w)는 KDS 21 50 00(1.6.4)에 따른다. 세장한 부재들로 이루어져 충실률이 낮고 보호망이나 패널 등을 붙여서 사용하는 안전시설물의 풍력계수(C_f)는 충실률에 따라 다음과 같이 산정한다.

$$C_f = (0.11 + 0.09\gamma + 0.945 C_0 \cdot R) \cdot F \qquad (2.4\text{-}1)$$

여기서, C_f : 안전시설물의 풍력계수

γ : 보호망, 네트 등의 풍력저감계수

C_0 : 안전시설물의 기본풍력계수

R : 안전시설물의 형상보정계수

F : 비계 위치에 대한 보정계수

보호망 등이 설치된 경우에 적용하는 풍력저감계수(γ)는 보호망 등으로 인한 충실률(ϕ)에 따라 <표 2-11>의 식을 적용하며, 안전시설물의 기본풍력계수(C_0)는 충실률(ϕ)에 따라 <표 2-12>를 적용한다.

<표 2-11> 보호망 등의 충실률에 따른 풍력저감 계수

구분	풍력저감계수	비고
쌍줄비계에서 후면비계에 적용하는 풍력저감계수	γ = 1 - ϕ	
쌍줄비계의 전면이나, 외줄비계에 적용하는 풍력저감계수	γ = 0	

<표 2-12> 안전시설물의 기본풍력계수(C_0)

ϕ	C_0
0.1 미만	0.1
0.3	0.5
0.5	1.2
0.7	1.6
1.0	2.0

주 1) ϕ : 충실률(유효수압면적 / 외곽 전면적)

2) 사이 값은 직선보간값을 적용한다.

안전시설물의 형상보정계수(R)는 망 또는 시트, 패널의 길이(l), 패널의 높이(h), 지면에서 패널상부까지의 높이(H)에 따라 다음과 같이 구분하여 적용한다. 다만, (l/h) 또는 ($2H/l$)가 1.5 이하인 경우에는 $R = 0.6$을 적용하며, (l/h) 또는 ($2H/l$)가 59 이상인 경우에는 $R = 1.0$을 적용한다.

① 망이나 패널이 지면과 공간을 두고 설치되는 경우

$$R_{sh} = 0.5813 + 0.013(l/h) - 0.0001(l/h)^2 \qquad (2.4\text{-}2)$$

여기서, l : 망 또는 패널의 길이
h : 망 또는 패널의 높이

② 망이나 패널이 지면에 붙어서 설치되는 경우

$$R_{sh} = 0.5813 + 0.013(2H/l) - 0.0001(2H/l)^2 \qquad (2.4\text{-}3)$$

여기서, H : 망 또는 패널의 지면에서 상부까지의 높이
l : 망 또는 패널의 길이

비계의 지지방법에 의한 보정계수(F)는 비계의 설치방법과 충실률에 따라 <표 2-13>을 적용한다.

<표 2-13> 비계 위치에 대한 보정계수(F)

비계의 종류	풍력방향	적용부분	보정계수(F)
독립적으로 지지되는 비계	정압, 부압	전 부분	F=1.0
구조물에 지지되는 비계	정압	상부 2개층	F=1.0
		기타 부분	F=1+0.31ϕ
	부압	개구부 인접부 및 돌출부	F=-1.0
		우각부에서 2스팬 이내	F=-1+0.23ϕ
		기타 부분	F=-1+0.38ϕ

주 1) ϕ : 충실률

마. 특수하중

비계에 선반 브래킷, 양중설비, 콘크리트 타설장비 및 낙하물 방지망 등 안전시설에 특수한 설비를 설치한 경우에는 그 영향을 고려하여야 하며, 낙하물의 충격하중은 낙하물의 중량과 낙하 시 충격 등의 영향을 고려하여야 한다.

바. 하중조합

하중조합은 연직하중(자중 및 작업하중)과 수평하중을 동시에 고려하여야 하고, 수평하중은 각 방향에 대하여 서로 독립적으로 작용하며, 중첩하여 적용하지 않는다. 풍하중의 적용은 작업하중의 영향을 고려하지 않으며, 비계 및 안전시설물에 적용하는 하중조합과 허용응력 증가계수는 KDS 21 10 00(가시설물 설계 일반사항)에 따라 <표 2-14>를 적용한다.

<표 2-14> 비계의 하중조합 및 허용응력증가계수

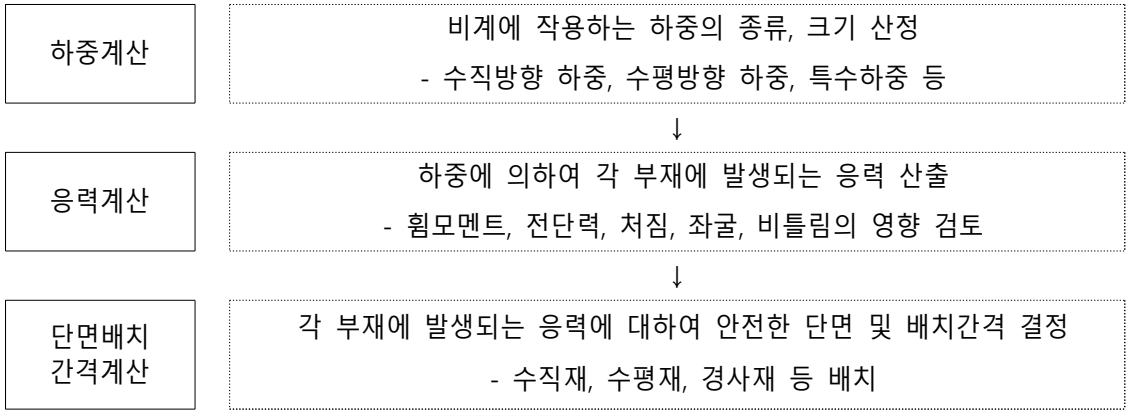
CASE	하중조합	허용응력증가계수
1	D+Li+M	1.00
2	D+W	1.25
3	D+Li+M+S	1.50

주1) D : 고정하중, Li : 작업하중, M : 시공오차 등의 최소수평하중, W : 풍하중, S : 특수하중

2.4.2 구조설계와 재료 및 설계기준(KDS 21 60 00 : 2020)

가. 구조설계

일반적으로 비계는 현장조건에 부합하는 각 부재의 연결조건과 받침조건을 고려한 2차원 또는 3차원 구조해석을 수행하여야 하나, 구조물의 형상, 평면선형 및 종단선형의 변화가 심하고 편재하의 영향을 고려할 경우와 높이 31 m 이상인 비계는 반드시 3차원 해석을 수행하여 안전성을 검증하여야 한다. 구조설계 순서는 [그림 2-13]에 따른다.



[그림 2-13] 구조설계 순서도

시스템비계의 부재와 부재간의 연결조건은 <표 2-15>와 같이 적용하며, 비계 받침부의 경계조건은 원칙적으로 힌지로 간주한다. 다만, 위의 규정을 따르기 어려운 경우에는 공사감독자가 인정하는 구조분야 전문자격을 갖춘 기술자의 판단에 따라 적용할 수 있다.

<표 2-15> 시스템비계 각 부재의 연결조건

구분	연결조건
수직재와 수직재의 연결부	연속 부재
수직재와 수평재의 연결부	힌지 연결(수평재 단부)
수직재와 경사재의 연결부	힌지 연결(경사재 단부)
수평재와 경사재의 연결부	힌지 연결

나. 재료 및 설계기준

(1) 재료

시스템비계의 재료는 주로 국내에서 생산 및 사용되는 것으로 적용하고, 각 재료에 대한 단면성능은 한국산업표준 또는 공인시험기관에서 시험한 결과를 적용하며, KCS 21 10 00에 적합한 것을 사용하여야 한다. 또한, 방호장치 안전인증기준 또는 KS F 8021에 적합하여야 한다. 각 부재의 허용인장성능은 허용인장응력을 따르고, 수직재 등 안전인증기준이 있는 경우 해당 기준을 적용하고, 그 외 제품은 한국산업표준 또는 공인시험기관에서 성능시험을 통하여 확인된 값을 적용하여야 한다.

(2) 설계기준

비계 및 안전시설물의 설계는 KDS 14 30 00『강구조 설계 일반사항(허용응력설계법)』에 따라야 하며, 강구조 부재 설계기준(허용응력설계법)의 4.1.8(세장비 제한)에는 “압축재의 세장비(kL/r)는 200을 초과하지 않아야 한다.”라고 규정하고 있다. 설계풍하중과 충격하중이 조합되는 경우에는 KDS 21 10 00(3.3.1)을 적용한다. 비계 및 안전시설물에 사용되는 부속품의 안전율은 공인시험기관의 성능시험 값을 기초로 <표 2-16>을 적용한다.

<표 2-16> 비계 및 안전시설물 부속품의 안전율

구분	안전율
인장	2
휨	2
전단	3
압축	3

비계 및 안전시설물의 설계는 시공 시의 연직하중, 풍하중, 수평하중 및 특수하중 등의 하중에 대하여 검토하여야 하며, 시공 등을 고려하여 적정한 형식과 재료를 선택하고, 작용되는 하중을 안전하게 기초에 전달하도록 하여야 한다. 또한, 비계 및 안전시설물은 조립·해체가 편리한 구조로써 이음부나 교차부에서 하중을 안전하게 전달할 수 있는 것이어야 한다. 비계를 선정할 때에는 설치 · 해체 및 이동 중 작업자의 안전성을 최우선으로 고려하여 시스템비계를 우선 검토하되, 현장여건을 고려하여 강관비계 등도 적용할 수 있다. 비계 설계 시 설계도면(평면도, 단면도, 작업발판 배치도 및 조립·해체 순서도 등), 구조계산서 등을 작성하여야 한다.

2.4.3 시스템비계 공사 일반사항(국토교통부, 2019・2020)

건설현장의 시스템비계는 공사중 작업안전성 확보를 위해 『비계(KCS 21 60 10 : 2020)』 및 『비계공사 일반사항(KCS 21 60 05 : 2019)』에서 다음과 같이 규정하고 있다.

가. 자재기준

시스템 비계는 KS F 8021 또는 방호장치 안전인증기준에 적합하여야 하고, 시스템 비계에 사용되는 받침 철물은 KS F 8014 또는 방호장치 안전인증기준 및 방호장치 자율안전기준에 적합하여야 한다. 또한, 벽 연결철물은 KS F 8003 또는 방호장치 안전인증기준의 규정에 적합한 것이어야 한다.

나. 시공 일반사항

시스템비계는 구조체에서 300 mm 이내로 떨어져 쌍줄비계로 설치하여야 하며, 비계기둥과 구조물 사이에는 근로자의 추락을 방지하기 위하여 추락방호조치를 실시하여야 한다. 또한, 현장의 시공여건, 안전도 및 경제성을 고려하여 공사감독자의 승인을 받아 동등규격 이상의 재질로 변경・적용할 수 있다. 비계의 벽 이음재 설치 및 해체는 공사감독자의 승인을 받은 조립・해체계획서에 따라 작업하여야 하고, 이 기준에 해당하는 사항 이외의 재료 및 구조 등은 산업안전보건법, 건축법 및 기타 관련법에 따른다. 특히, 높이 31 m 이상인 비계구조물 및 그 밖의 발주자 또는 인・허가기관의 장이 필요하다고 인정한 구조물에 대해서는 시공 전 수급인은 관계전문가로부터 구조적 안전성을 확인받도록 하고 있다.

(1) 수직재

수직재와 수평재는 직교되게 설치하여야 하며, 체결 후 흔들림이 없어야 하며, 수직재를 연약 지반에 설치할 경우에는 수직하중에 견딜 수 있도록 지반을 다지고 두께 45 mm 이상의 깔목을 소요폭 이상으로 설치하거나, 콘크리트, 강재표면 및 단단한 아스팔트 등의 침하 방지 조치를 하여야 한다. 또한, 시스템 비계 최하부에 설치하는 수직재는 받침 철물의 조절너트와 밀착되도록 설치하여야 하며, 수직과 수평을 유지하여야 한다. 이 때 수직재와 받침 철물의 겹침길이는 받침 철물 전체길이의 3분의 1 이상이 되도록 하여야 한다. 수직재와 수직재의 연결은 전용의 연결조인트를 사용하여 견고하게 연결하고, 연결 부위가 탈락 또는 꺾어지지 않도록 하여야 한다.

(2) 수평재

수평재는 수직재에 연결핀 등의 결합 방법에 의해 견고하게 결합되어 흔들리거나 이탈되지 않도록 하여야 하며, 안전 난간의 용도로 사용되는 상부 수평재의 설치높이는 작업 발판면으로부터 0.9 m 이상이어야 한다. 중간수평재는 설치높이의 중앙부에 설치(설치높이가 1.2 m를 넘는 경우에는 2단 이상의 중간수평재를 설치하여 각각의 사이 간격이 0.6 m 이하가 되도록 설치)하여야 한다.

(3) 가새

대각으로 설치하는 가새는 비계의 외면으로 수평면에 대해 40° ~ 60° 방향으로 설치하며 수평재 및 수직재에 결속하며, 가새의 설치간격은 시공 여건을 고려하여 구조검토를 실시한 후에 설치하여야 한다.

(4) 벽 이음

벽 이음재의 배치간격은 산업안전보건기준에 관한 규칙 제69조에 따라 제조사가 정한 기준에 따라 설치한다.

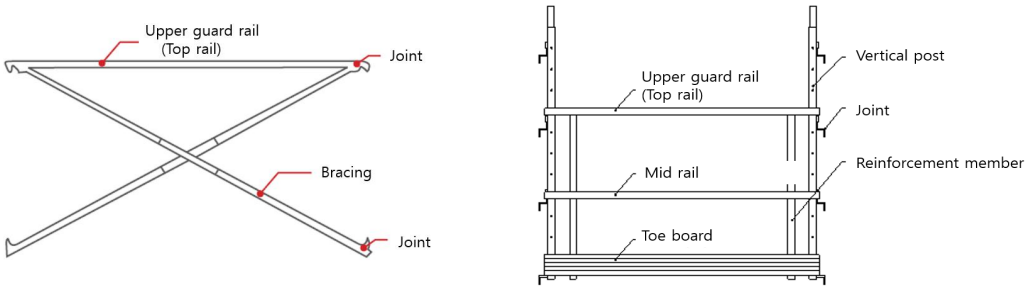
2.5 비계 관련 국외 안전기준

2.5.1 일본의 안전기준

노동안전위생규칙의 제10장(통로, 비계 등) 등과 일본공업규격(JIS A 8961:2014)에서 비계의 안전기준에 대해 규정하고 있고, 주요 안전기준은 <표 2-17>과 같다. 비계의 안전기준은 국내 산업안전보건기준에 관한 규칙과 대체로 유사하나, 안전난간에 관한 기준은 국내기준 보다 더 상세히 규정하고 있다. 또한, 일본공업규격(JIS A8961:2014)에서는 선행안전난간에 대한 표준규격을 규정하고 있으며, 교차가새형 선행안전난간대(X종)는 [그림 2-14]의 (가)와 같고, 수평형 선행안전난간대(Y종)는 [그림 2-14]의 (나)와 같다.

<표 2-17> 비계의 안전기준(일본)

구분	안전기준
기둥간격	띠장 방향 : 1.85m 이하, 장선 방향 : 1.5m 이하
기둥높이	높이 31m 초과 시 2본으로 보강
띠장간격	첫 번째 띠장 : 2m 이하
작업발판	폭 40cm 이상, 발판과 수직재 사이 12cm 미만
발끝막이판	높이 10cm 이상
설치·해체용 작업발판 폭	폭 40cm 이상 ※ 국내 기준 폭 20cm 이상
안전난간	상부난간 : 85cm 이상, 중간난간 : 35cm~50cm
	중간난간과 동등 이상의 기능을 가진 설비 · 35cm 이상의 발끝막이판, 판넬, 금속망 등 · X자형으로 설치된 2본의 경사재(60cm 직경의 물체가 통과하지 못하는 구조)
선행 안전난간	X종과 Y종이 있으며, 선행형 안전난간 성능+안전대 부착설비 성능
벽이음	단관비계 : 수직 5m, 수평 5.5m
비계와 구조물 간격	30cm 이하(곤란한 경우 안전난간 설치) <출처>건설업노동방지협회 지침
적재하중	기둥간 400kgf 이하



(가) X종 (나) Y종

[그림 2-14] X종과 Y종의 선행안전난간대 (출처) http://www.kasetsu.or.jp

2.5.2 미국의 안전기준

미국 산업안전보건법(OSHA Act)의 집행을 위한 건설업 안전기준은 CFR(Code of Federal Regulations) PART 1926이다. 이 중 비계 및 추락과 관련된 부분은 Subpart L(비계)과 Subpart M(추락)에서 규정하고 있고, 비계 안전기준은 ANSI(American National Standards Institute)의 『AMERICAN NATIONAL STANDARD A10.8 SCAFFOLDING SAFETY REQUIREMENTS』에서 규정하고 있으며, 주요 안전기준은 <표 2-18>과 같다. 선행안전난간대 설치 방법에 대한 기준은 마련되지 않은 것으로 확인되었다.

<표 2-18> 비계의 안전기준(미국)

구분	안전기준
기둥간격	설계하중의 허용응력 범위내에서 설치
기둥높이	높이가 125피트(38m) 이상인 경우 공인기술자가 설계 (Fabricated Tubular Frame Scaffolds)
띠장간격	설계하중의 허용응력 범위내에서 설치
작업발판	18인치(45.7cm) 이상
발끝막이판	높이는 3.5인치(8.9cm) 이상
설치·해체용 작업발판 폭	-
안전난간	상부난간 36~45인치(91.4~114.3cm), 중간난간 40cm~50cm
	상부난간대가 설치된 경우 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 견딜수 있는 강도
선행 안전난간	-
벽이음	첫 번째 : 비계의 최소폭의 4배 이내 두 번째부터 : 비계의 최소폭이 3피트(91.5cm) 이내인 경우 20피트(6.1m)마다, 3피트 초과 시 26피트(7.9m)마다 설치 매 20개마다 확인 시험(Proof test)
비계와 구조물 간격	-

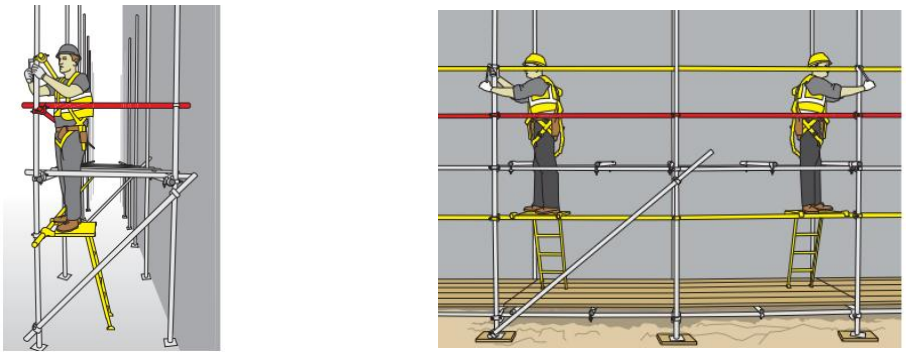
2.5.3 영국의 안전기준

영국의 비계 성능 요구사항과 설계에 관한 기준은 『BS EN 12811-1(Temporary works equipment-Part 1: Scaffolds-Performance requirements and general design)』과 『NASC(National Access & Scaffolding Confederation)』의 『Preventing Falls in Scaffolding Operations, Safety Guidance 4:2015』에서 규정하고 있으며, 주요 안전기준은 <표 2-19>와 같다. 선행 안전난간대 설치 방법은 크게 강관비계용과 시스템비계용

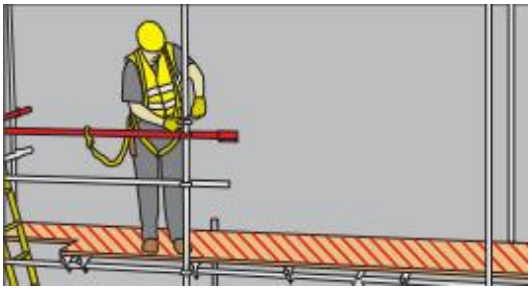
으로 구분된다. 강관비계용 선행 안전난간대 설치 방법은 1) 보조발판을 이용하여 상부난간대를 먼저 설치하는 방법([그림 2-15] 참조) 2) 수평 연장 선행 안전난간 설치 방법([그림 2-16] 참조) 3) 2명이 1조가 되어 하부 작업발판에서 강관비계를 프레임 형식(상부난간대+수직재 2본)으로 조립한후에 상부 작업발판 위치로 들어 올려 조립하는 방법([그림 2-17] 참조)이 있다.

<표 2-19> 비계의 안전기준(영국)

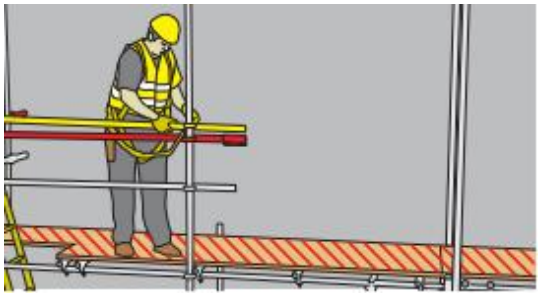
구분	안전기준
기둥간격	띠장방향 : 1.9m, 장선방향 : 60cm 이상
기둥높이	-
띠장간격	1.9m
작업발판	50cm 이상
발끝막이판	15cm 이상
설치·해체용 작업발판 폭	-
안전난간	상부난간 : 100cm 이상, 중간난간 : 발끝막이판 또는 작업발판과 상부난간의 중간위치
	중간난간 : 프레임구조, 울타리 구조 등 가능
	측면개구부 : 직경 47cm의 원형이 통과하지 않는 구조
선행 안전난간	보조발판 이용한 선행 안전난간 설치 방법 밀어올림 도구를 이용한 틀형 선행 안전난간 설치 방법 상승식 선행안전난간 설치 방법 수평 연장 선행안전난간 설치 방법 조립완성체 선행안전난간 설치 방법 강관비계용 프레임형 선행안전난간 설치 순서
벽이음	-
비계와 구조물 간격	22.5cm 이내



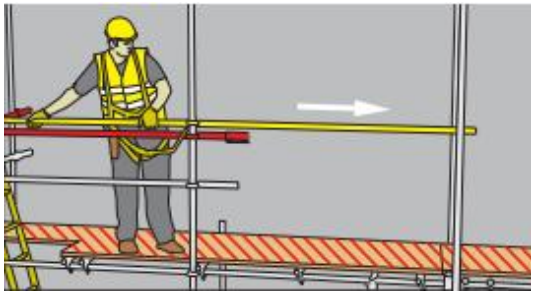
[그림 2-15] 보조발판을 이용한 선행안전난간 설치 방법(예시)
(출처) SG4 : 15 Preventing Falls in Scaffolding Operations(NASC,2016)



(1단계) 기존 안전난간 위에 클램프(2개) 설치

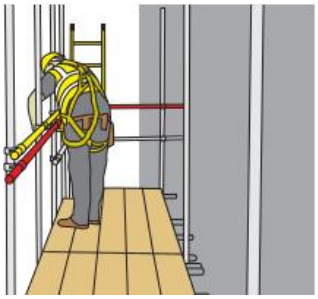


(2단계) 임시 안전난간용 비계를 수평으로 밀어 설치할 수 있도록 클램프에 거치
* 비계가 클램프에서 탈락되지 않도록 조치



(3단계) 임시 난간을 1경간 옆으로 이동시킨후 클램프 고정

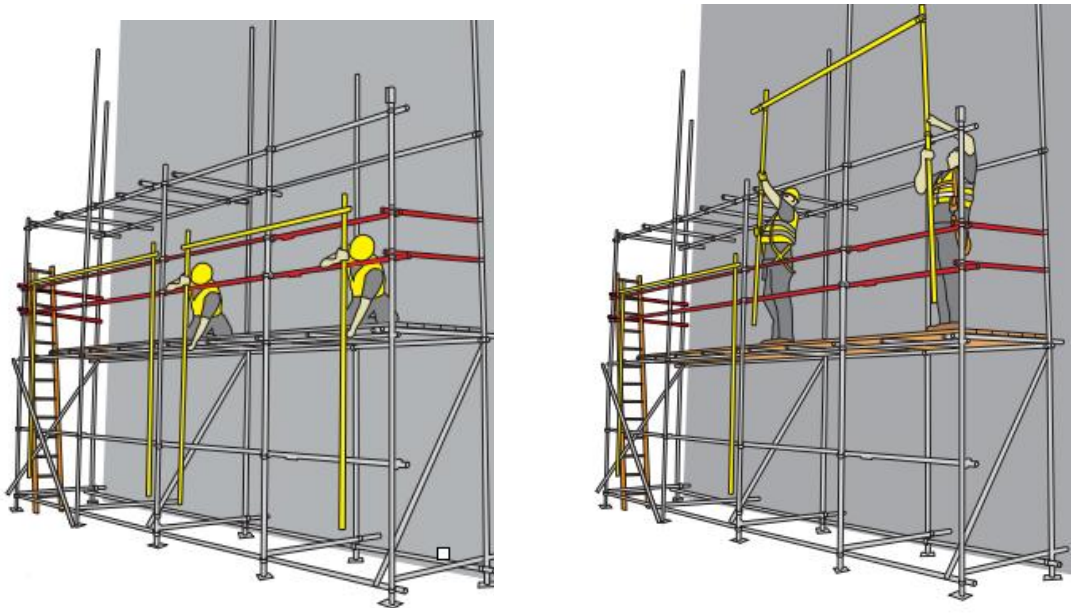
(4단계) 연장된 임시난간과 수직재 교차부 클램프 고정



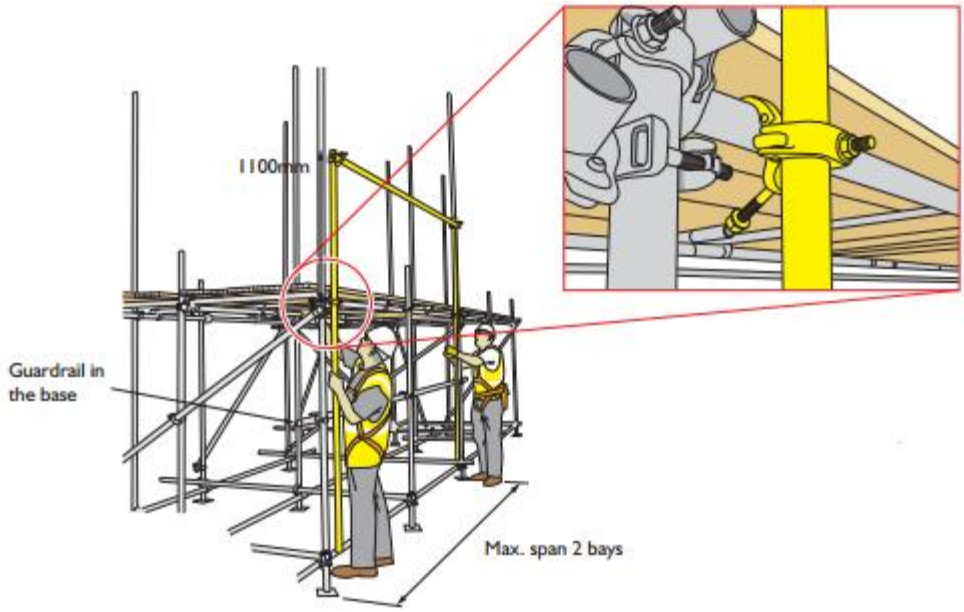
(5단계) 안전구역에서 중간난간대 등 설치

(6단계) 임시난간 고정용 클램프 일부 이완 후 1경간 옆으로 이동 (1단계~6단계 반복하여 작업)

[그림 2-16] 수평 연장 선행안전난간 설치 방법
(출처) SG4 : 15 Preventing Falls in Scaffolding Operations(NASC, 2016)



(가) 프레임형 선행안전난간 들어올림 준비(1단계)　(나) 프레임형 선행안전난간을 들어올린후 고정(2단계)

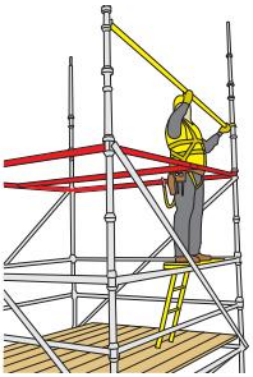


(다) 프레임형 선행 안전난간 연결부 상세도

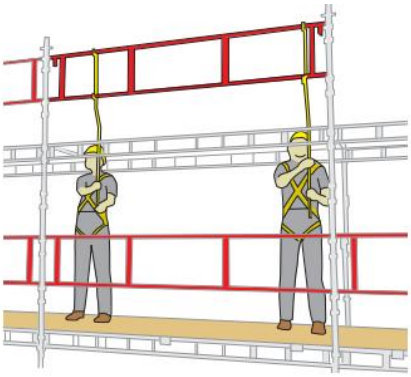
[그림 2-17] 강관비계용 프레임형 선행 안전난간 설치 방법(예시)

(출처) SG4 : 15 Preventing Falls in Scaffolding Operations(NASC,2016)

시스템비계용 선행안전난간대 설치 방법은 1) 강관비계와 동일한 방법의 보조발판을 이용하는 방법([그림 2-18] 참조) 2) 보조도구를 이용한 틀형 선행안전난간 설치 방법([그림 2-19] 참조) 3) 임시브라켓을 이용하는 방법([그림 2-20] 참조) 4) 상승식 선행안전난간대를 이용하는 방법([그림 2-21] 참조) 5) 조립완성체 선행안전난간대를 이용하는 방법([그림 2-22] 참조)이 있다.

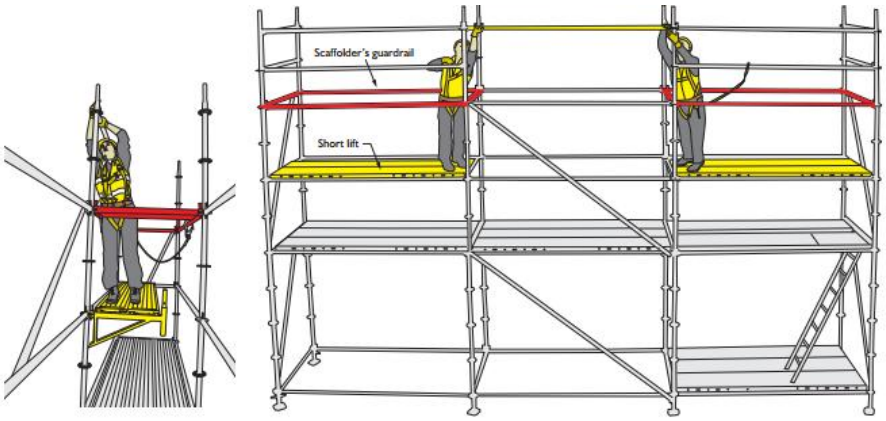


[그림 2-18] 보조발판을 이용한 상부 안전난간 설치 방법(예시)



[그림 2-19] 밀어올림 도구를 이용한 틀형 선행안전난간 설치 방법(예시)

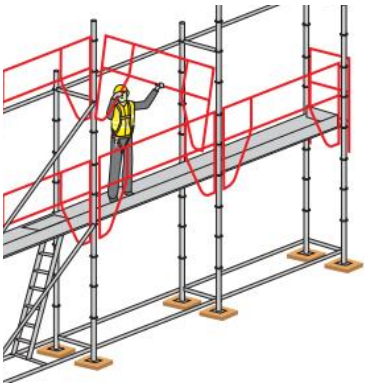
(출처) SG4 : 15 Preventing Falls in Scaffolding Operations(NASC,2016)



[그림 2-20] 임시브라켓을 이용한 선행안전난간 설치 방법(예시)

(출처) SG4 : 15 Preventing Falls in Scaffolding Operations(NASC, 2016)

[그림 2-21] 텔레스코픽 타입(상승식) 선행안전난간 설치 방법(예시)



[그림 2-22] 조립완성체 선행안전난간 설치 방법(예시)

(출처) SG4 : 15 Preventing Falls in Scaffolding Operations(NASC,2016)

2.6 시사점

시스템비계의 일반사항 고찰을 위해 국내 관련 법령과 기술기준 및 국외 비계 안전기준에 대해 분석한 결과 시사점은 다음과 같다. 국내 시스템비계와 관련된 법령과 기술기준에 대한 검토 결과 방호장치 안전인증고시에는 선행안전난간에 대한 안전인증 기준이 없으며, 선행안전난간의 설계기준과 안전작업 기준도 마련되지 않은 것으로 나타났다. 한편, 국내 설계기준 중 비계 및 안전시설물의 설계는 강구조 부재 설계기준(허용응력설계법)의 세장비 제한 기준에 따라 압축재의 세장비(kL/r)는 200을 초과하지 않도록 규정하고 있어, 임시로 사용하는 가시설물 중 2차부재에 대한 세장비 제한의 의무적용에 대한 적정성 검토가 필요하다. 해외 선진국의 비계 안전기준에 대한 분석 결과 일본은 선행안전난간대에 대해 표준규격(JIS A 8961 : 2014)이 마련되어 일본 건설현장에 적용되고 있다. 영국의 경우에는 강관비계와 시스템비계에 적용할 수 있는 다양한 선행 공법의 기술기준(NASC, 2016)을 그림 등으로 이해하기 쉽게 제작하여 보급하고 있으며, 영국 건설현장에 적용되고 있다. 따라서 국내 건설현장에 선행 공법을 도입하기 위해서는 선행안전난간대에 대한 방호장치 안전인증 고시 개정과 기술안전기준 마련이 시급한 것으로 판단된다.

3. 선행 공법의 국내 도입 타당성 분석

3.1 연구 필요성

(1) 연구필요성 및 방법

본 장에서는 선행 공법을 국내 건설현장에 도입하기 위해 국내 비계작업 실태 분석, 국내・외 비계의 안전난간에 관한 안전기준 분석, 그리고 경제성 분석 등 종합적 타당성 분석이 필요하다. 이에 따라 연구방법은 크게 3가지 측면에서 실시하였다.

첫째, 국내 건설현장의 강관비계와 시스템비계 설치・해체 작업에 대한 실태분석을 통해 비계 설치·해체 작업의 문제점을 파악하여 선행 공법의 도입 타당성을 분석하였다. 그리고 건설업 사고사망자의 재해 특성 분석을 위해 안전보건공단 내부 전산망에 등록된 건설업 중대재해조사보고서를 통해 파악하였다. 분석 대상 중대재해조사보고서는 최근 3년간(2016년~2018년, 재해발생일 기준)으로 하였으며, 최근 3년간 사고사망자 1,312명을 대상(사고 원인이 특정되지 않은 31명 제외)으로 발생형태별, 비계종류별, 공사종류별, 공사금액별, 추락높이별, 국적별 등에 대한 재해특성을 분석하였다.

둘째, 국내에 적용되고 있는 비계의 안전난간에 관한 안전기준과 국외 안전기준을 비교 분석하여 선행 공법의 안전난간 기준에 관한 국내 제도의 타당성을 분석하였다. 국내 안전기준은 비계와 관련된 5종(산업안전보건기준에 관한 규칙, 방호장치 안전인증 고시, 방호장치 자율안전기준 고시, 추락재해방지 표준안전작업지침, 시스템비계 안전작업 지침)이 분석 대상으로 선정되었다. 그리고 국외 안전기준은 선행 공법을 산업현장에 적용하고 있는 일본의 3종(노동안전위생규칙, 일본공업규격, 가설공업회 승인기준)과 미국의 OSHA 및 ANSI 기준, 그리고 유럽의 EN 기준을 분석하였다. 이러한 안전기준 분석을 통해 선행 공법을 국내에 도입하기 위해 필요한 제도적 타당성을 검토하였다.

마지막으로, 선행 공법의 시공성과 경제적 타당성을 분석하였다. 선행 공법의 시공성은 국내・외에 사용되고 있는 비계의 안전난간 설치 공법(후행 공법과 선행 공법)의 종류와 특징 등을 분석하여 파악하였다. 그리고 난 후, 선행 공법 중에서 국내 건설현장에 가장 적합한 것으로 파악된 공법에 대해 경제성을 분석하였다. 경제성 분석은 국내 선행안전난간 제조사(현재 기준 총 2개사)에 설치규모 등 동일 조건(<표 3-1>)으로 후행 공법과 선행 공법 적용 시 소요되는 비용(인건비 포함)을 제공받아 비교 분석되었다.

<표 3-1> 시스템비계의 임대조건(박주동 등, 2020)

건물의 규모	가로×세로×높이 : 20m×20m×30m
설치 범위	4면 시스템 비계 설치
작업발판 설치 조건	작업발판 1열 설치
계단실	1개소
설치 면적	[(가로+0.3m×2)×2+(세로+0.3m×2)×2]×(높이+1m) ※ 비계 내측과 건물 이격거리 : 30cm
가새(브레이싱)	구조검토 결과에 따라 적용
벽이음	가로 5m 이내, 세로 5m 이내
운반거리	10km
안전난간 설치 위치	작업발판 외측 안전난간 설치 ※ 작업발판 내측에는 안전난간 미설치
임대기간	5개월
기타	후행공법 : 작업발판 외측에 수평안전난간 설치 선행공법 : 작업발판 외측에 교차가새형 선행 안전난간 설치

(2) 비계작업의 실태 및 문제점

국내 방호장치 안전인증 고시 등 안전인증 대상에 선행안전난간이 포함되어 있지 않아 현재까지 안전인증을 취득한 선행안전난간은 없는 상태이다. 중·소규모 건설현장의 경우 비계작업자는 강관비계와 시스템비계를 설치할 때 하부 작업발판에서 상부 작업발판을 설치한 후 상부 작업발판으로 이동하여 안전난간을 설치한다. 따라서 비계작업자는 안전난간을 설치하기 전에는 작업발판 단부에서 추락할 위험이 있다.

(가) 강관비계 설치 작업
※ 작업자 ①과 ② : 추락 위험성 높음

(나) 강관비계 해체 작업
※ 작업자 ① : 추락 위험성 높음,
작업자②, ③ : 추락 위험성 낮음

[그림 3-1] 강관비계 설치·해체 작업 중 추락 위험

강관비계 설치 및 해체작업에 관한 예시는 [그림 3-1]과 같으며, 강관비계를 설치·해체하는 최상단 작업발판 위에서 작업하는 작업자([그림 3-1] (가)의 ①, ②, (나)의 ①)는 작업발판 단부에 안전난간이 설치되지 않은 상태로 작업 중 추락위험이 있다.

시스템비계 설치 및 해체작업에 관한 예시는 [그림 3-2]와 같으며, 시스템비계를 설치·해체하는 최상단 작업발판 위에서 작업하는 작업자([그림 3-2] (가)의 ①, ②, (나)의 ①, ②)도 강관비계 설치 작업과 동일하게 작업발판 단부에 안전난간이 설치되지 않은 상태로 작업하고 있어 추락위험이 있다.

(가) 시스템비계 설치 작업
※ 작업자 ①, ② : 추락 위험성 높음
작업자 ③ : 추락 위험성 낮음

(나) 시스템비계 해체 작업
※ 작업자①,② : 추락 위험성 높음
작업자③~⑥ : 추락 위험성 낮음

[그림 3-2] 시스템비계 설치·해체 작업 중 추락위험

또한, 비계작업자는 강관비계 및 시스템비계를 해체할 때 상부 작업발판에서 안전난간을 해체한 후 하부 작업발판으로 이동하여 상부 작업발판을 해체한다. 따라서 안전난간을 먼저 해체하고 나면 작업자는 작업발판 단부에서 추락할 위험이 있다. [그림 3-1]의 (나)를 예로 들면, 강관 비계를 해체하는 최상단 작업발판 위에서 해체 중인 ① 번 작업자는 추락위험이 있지만, 하부 작업발판에서 작업하는 ②~③번 작업자는 외측 작업발판 단부에 안전난간이 설치되어 있어 ①번 작업자에 비해 상대적으로 안전하다. 시스템비계 해체 작업은 [그림 3-2]의 (나)와 같으며, 최상단 작업발판 위에서 해체 중인 ①~②번 작업자는 추락위험이 있지만, 하부 작업발판에서 작업하는 ③~⑥번 작업자는 외측 작업발판 단부에 안전난간이 설치되어 있어 상대적으로 안전하다.

(가) 사고현장 전경

(나) 지상7층 작업발판 단부 안전난간 미설치

[그림 3-3] 시스템비계 설치 중 추락 사망 사례(1) (안전보건공단, 2020)

최근 국내 건설현장에서 시스템비계 설치 중 추락한 실사례를 살펴보면, 2020.02.22. 경기도 군포시 소재 근생시설신축공사현장에서 비계공이 외부 시스템비계 설치 작업 중 [그림 3-3]과 같이 작업발판 단부에 안전난간 미설치 구간에서 추락(H=20.3m)하여

사망하였고, 2019.04.13. 경기도 용인시 소재 공동주택 신축공사현장에서 비계공이 외부 시스템비계 설치 작업 중 완전히 고정되지 않는 상부 안전난간용 수평재(삽입형)가 분리되며, 추락(H=13.5m)하여 사망한 사례([그림 3-4] 참조)와 같이 시스템비계에서도 안전난간을 선행하여 설치하지 않으면 추락위험성이 높은 것을 알 수 있다.

(가) 사고현장 전경 (나) 지상7층 작업발판 단부 안전난간 미설치

[그림 3-4] 시스템비계 설치 중 추락 사망 사례(2) (안전보건공단, 2019)

또한, 시스템비계는 석재 등 자재의 과적, 벽이음 미설치 등의 원인으로 붕괴될 위험이 있다. 시스템비계의 붕괴 사례를 살펴보면, 2019.03.18. 충북 청주 소재 대수선공사현장의 시스템비계에서 외부 벽돌 마감 작업중 벽이음 누락 등으로 [그림 3-5]의 (가)와 같이 시스템비계가 붕괴되었고, 2010.07.29. 경기도 용인 소재 연구소 외벽 석재(화강석) 해체 작업 중 해체된 석재를 시스템비계에 과적 등의 원인으로 [그림 3-5]의 (나)와 같이 시스템비계가 붕괴되었다.

(가) 벽이음 설치 미흡+자재 적재 (나) 석재과적+벽이음 설치 미흡

[그림 3-5] 시스템비계 붕괴사례 (안전보건공단, 2010, 2019)

그러므로 비계 설치·해체작업 시 추락위험에 대한 근원적인 해결책으로 비계 설치 시 해당 작업발판으로 이동하기 전에 안전난간을 미리 설치하고, 비계 해체 시 하부의 안전한 작업발판에서 상부의 안전난간을 나중에 해체하는 안전난간 선행 공법의 도입이 필요하며, 시스템비계의 붕괴사고 방지를 위해 선행 공법 도입 전 구조성능 평가가 필요하다.

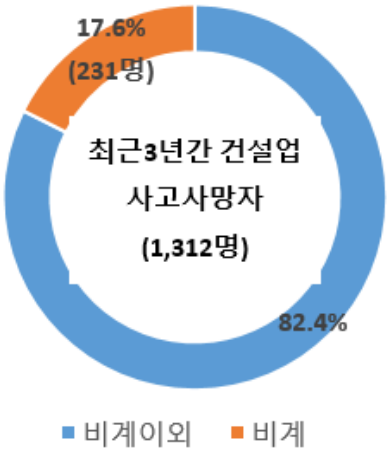
3.2 비계작업의 중대재해 특성

3.2.1 건설업 중대재해 현황

최근 3년간(2016년~2018년)의 건설업 중대재해 중 사고사망자는 <표 3-2>와 [그림 3-6]과 같이 총 1,312명(3년간 누계)으로 파악되었으며, 비계관련 사고사망자는 전체의 17.6%(231명)를 점유하는 것으로 나타났다.

<표 3-2> 건설업 전체 대비 비계관련 사고사망자 현황(2016-2018)

구분	합계		2016		2017		2018	
	건설업	비계(점유율)	전체	비계	전체	비계	전체	비계
사고사망자	1,312	231(17.6%)	463	80	458	81	391	70

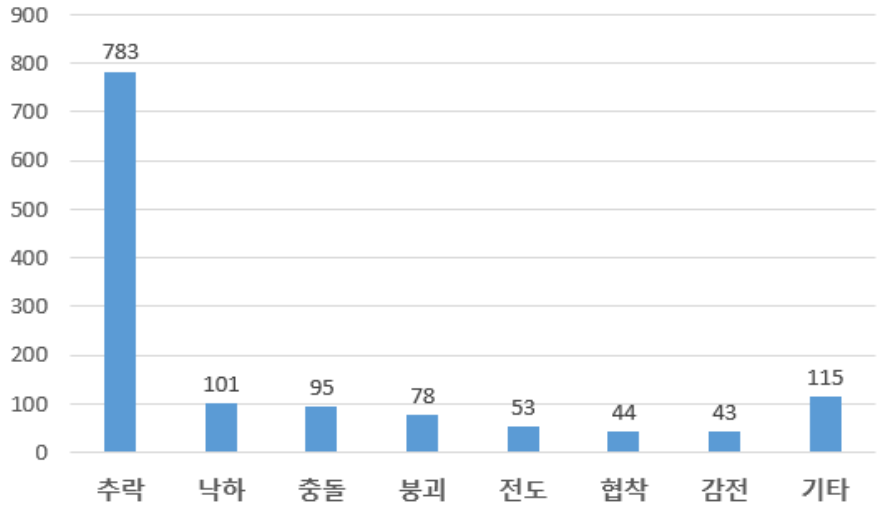


[그림 3-6] 건설업 전체 대비 비계관련 사고사망자 현황(2016-2018)

재해발생형태는 <표 3-3>과 [그림 3-7]과 같이 추락에서 59.7%(783명)로 가장 많았고, 낙하 7.7%(101명), 충돌 7.2%(95명), 붕괴 5.9%(78명), 전도 4.0%(53명) 등의 순으로 많이 발생하였으며, 비계관련 사고사망자(231명) 중 추락 사망자가 97.8%(226명) 발생한 것으로 분석되었다.

<표 3-3> 건설업의 발생형태별 사고사망자 현황(2016-2018)

구분	합계	추락	낙하	충돌	붕괴	전도	협착	감전	기타
사고사망자	1,312	783	101	95	78	53	44	43	115
점유율(%)	100	59.7	7.7	7.2	5.9	4.0	3.4	3.3	8.8



[그림 3-7] 건설업 사고사망자의 발생형태별 현황(2016-2018) (단위 : 명)

3.2.2 건설업 비계관련 추락사망자 현황

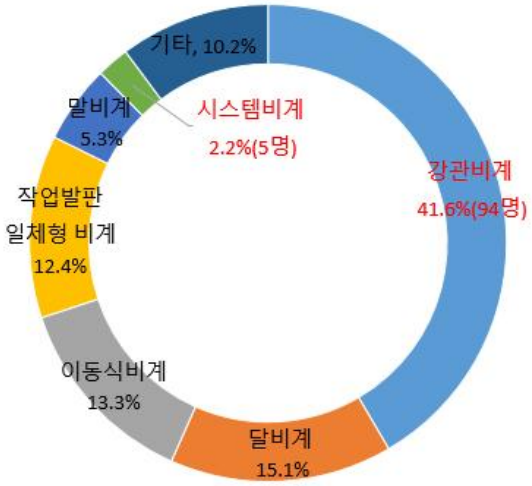
가. 비계종류별 추락사망자 현황

비계종류별 추락 사망자는 <표 3-4>와 [그림 3-8]과 같이 강관비계에서 41.6%(94명)로 가장 많이 발생하였으며, 그 다음으로는 달비계 15.1%(34명), 이동식비계 13.3%(30명), 작업발판 일체형 비계 12.4%(28명), 말비계 5.3%(12명), 시스템비계 2.2%(5명) 등의 순으로 발생하였다. 강관비계와 작업 방법이 유사한 비계는 시스템비계와 틀비계가 있지만, 국내는 틀비계 사용률이 매우 낮아 틀비계의 사망자 비율이 매우 낮게 나타났다.

<표 3-4> 비계종류별 추락 사망자 현황(2016-2018)

(단위 : 명)

구분	3년 평균	점유율(%)	소계	2016년	2017년	2018년
합계	75.3	100	226	80	80	66
강관비계	31.3	41.6	94	31	34	29
달비계	11.3	15.1	34	16	10	8
이동식비계	10.0	13.3	30	6	10	14
작업발판 일체형비계	9.3	12.4	28	13	7	8
말비계	4.0	5.3	12	3	7	2
시스템비계	1.7	2.2	5	2	2	1
기타	7.7	10.2	23	9	10	4



[그림 3-8] 비계종류별 추락사망자 점유율 현황(2016-2018)

나. 강관비계와 시스템비계의 추락사망자 현황

틀비계를 제외한 강관비계와 시스템비계의 추락사망자는 총 99명으로 공사금액별 추락사망자 현황은 <표 3-5>와 같다. 상세현황으로는 3~10억원에서 27.3%(27명)로 가장 많이 발생하였고, 그 다음으로는 3억원 미만에서 24.2%(24명), 10~50억원에서 18.2%(18명), 100~1,000억원에서 12.1%(12명) 등의 순으로 발생하였다. 50억원 미만의 중·소규모 현장에서 69.7%를 차지하였다.

<표 3-5> 공사금액별 추락사망자 현황(2016-2018)

(단위 : 명)

구분	소계	3억원미만	3~10억원	10~50억원	50~100억원	100억~1,000억원	1,000억원 이상
합계	99	24	27	18	10	12	8
점유율	100%	24.2%	27.3%	18.2%	10.1%	12.1%	8.1%
강관비계	94	23	27	18	9	9	8
시스템비계	5	1	0	0	1	3	0

추락높이별 추락사망자 현황은 <표 3-6>과 같으며, 추락높이가 15m 이하에서 84.9%(84명)로 가장 많이 발생하였고, 15~20m에서 10.1%(10명), 20m 초과에서 5%(5명) 순으로 발생하였다. 국적별 추락사망자 현황은 <표 3-7>과 같이, 내국인이 90.9%(90명), 외국인이 9.1%(9명)로 나타났다.

<표 3-6> 추락높이별 추락사망자 현황(2016-2018)

(단위 : 명)

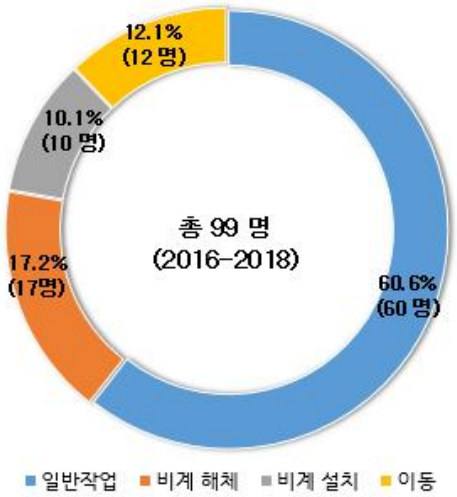
구분	소계	2m 이하	2~10m 이하	10~15m 이하	15~20m 이하	20m 초과
합계	99	7	59	18	10	5
점유율	100%	7.1%	59.6%	18.2%	10.1%	5.1%
강관비계	94	6	57	17	9	5
시스템비계	5	1	2	1	1	0

<표 3-7> 국적별 추락사망자 현황 (2016-2018)

(단위 : 명)

구분	소계	내국인	외국인	비고
합계	99	90	9	
점유율	100%	90.9%	9.1%	
강관비계	94	85	9	중국인 9명
시스템비계	5	5	0	

추락사망자의 사고 당시 작업내용(이동포함)은 [그림 3-9]와 같으며, 작업내용별 사망재해는 비계 위 일반작업에서 60.6%(60명)로 가장 많이 발생되었고, 그 다음으로 비계 설치 및 해체 작업에서 27.3%(27명), 이동 중 12.1%(12명) 순으로 높게 나타났다.



[그림 3-9] 강관비계와 시스템비계의 작업종류별 추락 사망자 현황(2016-2018)

<표 3-8> 재해원인별 추락사망자 현황(2016-2018)

구분	소계	작업발판		안전난간		가설통로		안전대	
		미설치	설치미흡	미설치	설치미흡	미설치	설치미흡	미착용	미부착
합계	99	10	10	55	14	3	4	2	1
점유율	100%	10.1%	10.1%	55.6%	14.2%	3.0%	4.0%	2.0%	1.0%
강관비계	94	10	10	52	13	2	4	2	1
시스템비계	5	0	0	3	1	1	0	0	0

주1) 재해원인이 강관비계의 안전난간 미설치로 인한 사망자 52명 중 작업발판 내측(구조물측)에 안전난간을 미설치한 10건이 포함됨.
주2) 재해원인이 2개 이상인 경우 예방조치의 중요도가 높은 재해원인으로 분류함.

추락사망자의 주요원인별 분석결과는 <표 3-8>과 같으며, 주요 원인별로는 안전난간 미설치 또는 설치미흡의 원인으로 69.8%(69명)가 발생하였으며, 그 다음으로는 작업발판 미설치 또는 설치미흡으로 20.2%(20명)가 발생하였으며, 가설통로 미설치 또는 설치미흡으로 7%(7명), 안전대 미착용 또는 미부착으로 3%(3명)가 발생하였다. 비계 설치 및 해체 작업과 이동 중 추락 사망재해의 주요원인은 안전난간 또는 작업발판을 미설치하거나 설치 미흡에 기인하는 것으로 해석된다. 이는 현재 국내 건설현장에서는 비계 설치·해체 시 안전난간을 나중에 설치하는 후행공법을 적용하고 있는 것도 중요한 요인중에 하나로 판단된다. 따라서 안전난간을 미리 설치하여 항상 안전난간이 설치된 상태에서 작업이 가능한 선행 공법의 도입은 추락재해예방에 효과가 높을 것으로 판단된다.

3.3 안전난간의 안전기준 타당성 분석

3.3.1 국내 안전난간 기준

비계의 안전난간과 관련된 국내 기준은 산업안전보건기준에 관한 규칙, 방호장치 안전인증 고시, 방호장치 자율안전기준 고시, 추락재해방지표준안전작업지침(고용노동부 고시 제2020-8호), KOSHA GUIDE(시스템비계 안전작업 지침 등)에서 규정되어 있다. 국내 비계 안전기준(산업안전보건기준에 관한 규칙 제13조)에 따르면 <표 3-9>와 같이 비계에 설치되는 안전난간은 상부난간대, 중간난간대, 발끝막이판 및 난간기둥으로 구성된다. 다만, 중간난간대, 발끝막이판 및 난간기둥은 이와 유사한 구조와 성능을 가진 것으로 대체할 수 있도록 하고 있으나, 이에 대한 유권해석은 아직까지 없는 상태이다(산업안전보건기준에 관한 규칙 제13조).

<표 3-9> 안전난간의 안전기준

구분	안전기준	비고
구성	1. 안전난간은 상부 난간대, 중간 난간대, 발끝막이판 및 난간기둥으로 구성할 것. 다만, 중간 난간대, 발끝막이판 및 난간기둥은 이와 비슷한 구조와 성능을 가진 것으로 대체할 수 있음	단서 조항에 대한 유권해석이 없음.
구조와 설치요건	1. 상부난간대는 바닥면 등에서 90~120cm의 위치에 설치해야하며, 중간난간대는 상부난간대와 바닥면 등의 중간에 설치해야 함. 다만, 계단의 개방된 측면에 설치된 난간기둥 간의 간격이 25cm 이하인 경우에는 중간 난간대를 설치하지 아니할 수 있음 2. 발끝막이판은 바닥면등으로부터 10cm 이상의 높이를 유지할 것. 3. 난간기둥은 상부난간대와 중간난간대를 견고하게 떠받칠 수 있도록 적정한 간격을 유지할 것. 4. 상부 난간대와 중간 난간대는 난간 길이 전체에 걸쳐 바닥면등과 평행을 유지할 것 5. 난간대는 지름 2.7cm 이상의 금속제 파이프나 그 이상의 강도가 있는 재료일 것 6. 안전난간은 구조적으로 가장 취약한 지점에서 가장 취약한 방향으로 작용하는 100kgf 이상의 하중에 견딜 수 있는 튼튼한 구조일 것	

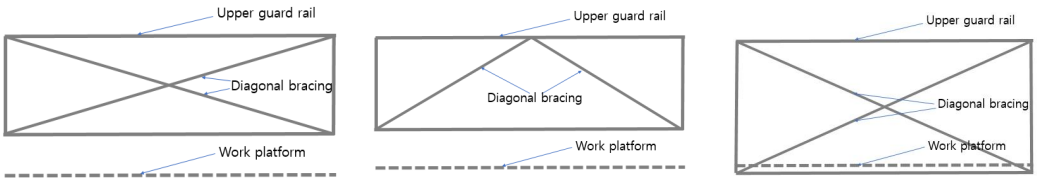
안전난간에 관한 제품 인증 기준은 산업안전보건법의 방호장치 안전인증고시, 방호장치 자율안전기준 고시 및 산업표준화법에 따른 한국산업표준(KS)에서 규정하고 있다(고용노동부 고시 제2020-33호, 제2020-34호). 현재 국내 안전인증 대상 안전난간은 조립식 안전난간, 엘리베이터 개구부용 난간틀, 이동식비계용 난간틀이 있으나, 강관비

계 및 시스템비계 전용 안전난간 제품에 대한 안전인증 기준은 없는 실정이다. 하지만, 안전인증업무 규정에 따라 시스템비계의 구성품인 선행안전난간대는 수평재(특수구조인 선행 설치형)로 안전인증 심의위원회 심의를 통해 안전인증을 받을 수 있다. 그러나 국내에서는 아직까지 안전인증 심의위원회에서 교차가새를 중간난간으로 인정한 경우가 없어 안전인증을 받을 수 없는 실정이다. 이렇게 안전인증을 받을 수 없거나 안전인증 대상에 해당되지 않는 유해위험기계·기구는 안전 성능을 평가하는 임의안전인증(S마크)을 신청할 수 있다.

임의안전인증제도는 안전인증을 받으려는 제조사가 국제표준화기구(ISO), 미국국가표준협회(ANSI) 규격 등 특정기준 적용을 요청하는 경우에 해당 기준으로 심사할 수 있도록 규정하고 있다(고용노동부 고시 제2020-39호). 그러나 특정기준 적용을 요청하더라도 해당 제품이 국내 기준에 부합하지 않을 경우 임의안전인증을 취득할 수 없다. 예를 들면, 교차가새형 선행안전난간을 제조하는 국내 제조사가 임의안전인증 기준에 따라 일본공업규격(JIS) 기준으로 임의안전인증(S마크)을 신청할 수 있다. 하지만, 교차가새가 국내 안전기준(예: 안전난간대의 평행유지 조건과 안전난간대 간의 간격 60 cm 이내 유지)에 맞지 않으면 중간난간으로 인정되지 않아 임의안전인증을 취득하지 못한다.

3.3.2 국외 안전난간 기준

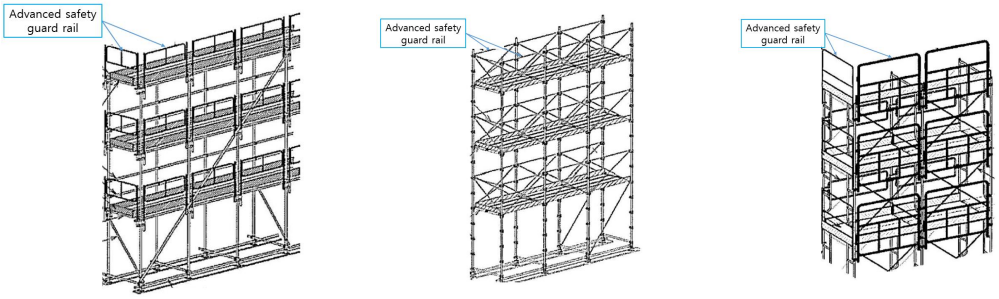
일본의 경우 비계에 설치하는 안전난간과 관련된 기준은 노동안전위생규칙 제552조(안전난간의 구조와 설치기준)에서 규정하고 있다. 노동안전위생규칙의 안전난간은 상부난간대의 높이 85 cm 이상, 중간난간대의 높이 35 cm~50 cm이거나 이와 동등 이상의 기능을 가지는 설비로 규정하고 있다. 중간난간대는 후생노동성 유권해석(후생노동성 기발 제0311001호)에 따라 [그림 3-10]과 같이 2개의 경사재(대각재)를 인정하고 있다.



(가) A형 (나) B형 (다) C형

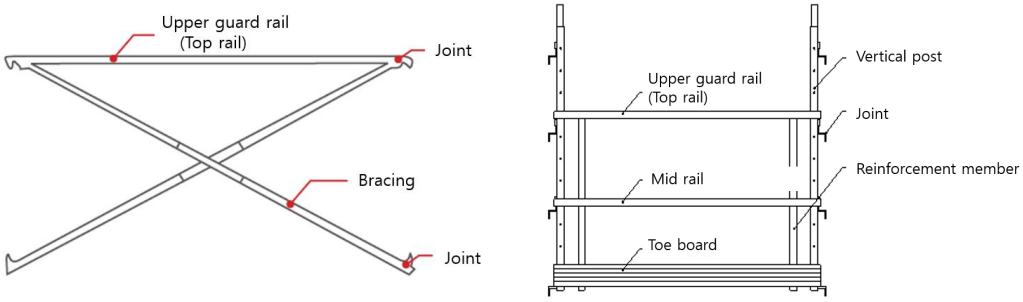
[그림 3-10] 중간난간으로 인정하는 2개의 대각재 종류
(출처: https://www.mhlw.go.jp/bunya/roudoukijun/anzeneisei26/dl/04.pdf)

선행안전난간의 규격기준은 일본공업규격과 가설공업회 승인기준이 있다. 일본공업규격은 선행안전난간을 [그림 3-11]과 같이 강관비계용, 시스템비계용, 틀비계용으로 구분하고 있으며, 가설공업회 승인기준의 시스템비계 선행안전난간은 [그림 3-12]와 같이 안전난간과 가새의 역할을 동시에 하는 X종과 안전난간 역할만을 하는 Y종으로 구분하고 있다.



(가) 강관비계용 (나) 시스템비계용 (다) 틀비계용

[그림 3-11] 비계 종류별 선행안전난간(예) (출처: JIS A 8961:2014, 그림 2~4)



<X Type> <Y Type>

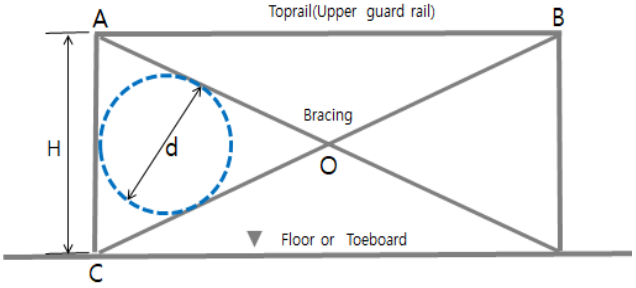
[그림 3-12] 시스템비계의 선행안전난간 종류 (출처 : http://www.kasetsu.or.jp)

실제로 일본 건설현장에는 강관비계용 선행안전난간이 거의 사용되지 않고 있다. 이는 강관비계의 특성상 수직재 간격을 동일하게 설치하기 어려워 규격화된 선행안전난간의 적용이 어렵기 때문인 것으로 추정되고 있다. 또한, 시스템비계 전용의 선행안전난간 중 일본 가설공업회의 승인을 득한 제품은 X종만 있으며 이는 작업의 편리성과 경제성의 이유로 대부분 X종을 선호하기 때문인 것으로 추측된다.

일본공업규격(JIS A 8961:2014)에 따르면 “선행형 안전난간(Advanced and Secured Handrail)은 비계의 설치 작업 시 작업자가 윗단으로 오르기 전에 선행하여 설치가 가능한 안전난간으로 작업자의 추락과 전도방지를 위해 비계의 설치 및 해체작업을 포함한 비계 위에서 행해지는 모든 작업 시 항상 안전난간이 있는 상태에서 작업이 가능하다.” 라고 설명하고 있다. 교차 가새 구조의 선행형 안전난간의 경우 삼각형 공간으로 추락할 위험이 있어 적정한 공간의 크기에 대해서도 규정하고 있다. [그림 3-13]과 같이 상부난간대의 높이(H)는 90 cm 이상이고, △AOB와 △AOC 등 삼각형의 모든 면적은 0.5 m^2이하이거나, 삼각형의 각 변에 내접하는 원의 직경(d)이 60 cm 이하가 되도록 규정하고 있다. 즉, 삼각형 공간으로 직경 60 cm의 원형이 통과하지 않는 경우가 승인기준에 해당된다.

미국에서는 OSHA(Occupational Safety and Health Administration)의 1926.502 (Fall Protection System Criteria and Practices) 규정에 따라 안전난간의 구조 중 상부난간대는 42 inch(1.1m), 중간난간대는 바닥에서 21 inch(53cm) 이상 높이에 설치하여야 한다. 중간난간대는 스크린, 메쉬, 패널, 중간 수직부재 등으로 대체할 수 있다. 또한, ANSI(American National Standards Institute) 규격인 ANSI/ASSP A10.8(Scaffolding Safety

Requirements)의 4.7.5에 따르면 상부난간대를 설치한 경우 2개의 가새재 교차점이 바닥면에서 20~30 inch(50.8~76.2cm)인 경우 중간난간대로 인정할 수 있도록 규정하고 있다(ANSI/ASSP A10.8, 2019).



[그림 3-13] 교차가새형 안전난간의 구조(H : 높이, d : 직경, △AOB와 △AOC : 삼각형의 면적)
(출처) JIS A 8961:2014, 그림 7

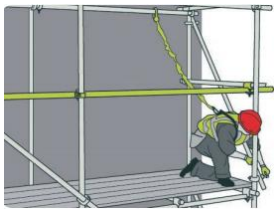
유럽은 EN 12811-1(Temporary Works Equipment Part1: Scaffolds Performance Requirements and General Design) 규정에 따라 상부난간대는 바닥면으로부터 1 m 이상이어야 하고, 난간대 사이 순간격은 47 cm 이하이여야 한다. 중간난간대는 1개 이상의 수평난간대, 프레임 또는 울타리 구조로 구성이 가능하도록 허용하고 있다(BS EN 12811-1, 2003).

3.4 선행공법의 시공성 및 경제성 분석

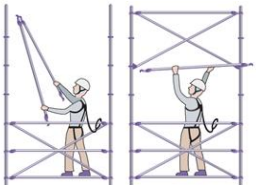
3.4.1 안전난간 설치공법의 시공성 비교

국내 및 국외에서 적용하고 있는 후행 공법과 선행 공법을 정리하면 <표 3-10>과 같다. 국내 건설현장에서는 후행 공법을 주로 적용하고 있어 작업발판에서 안전난간 설치 전까지 추락위험이 항상 존재하여 안전대를 부착하도록 규정하고 있다. 그러나 건설현장에서는 안전대를 부착하기 어려워 상당수가 안전대를 부착하지 않고 작업하고 있는 실정이다. 반면, 국외는 순차형, 상승형, 수평틀형, 교차가새형(X형) 난간 등의 선행 공법을 적용하고 있다. 순차형 난간 설치공법은 상부 안전난간을 설치하기 위해 임시 작업발판을 추가 설치해야 하므로 작업성과 경제성이 낮다. 상승형 난간 설치공법은 길이조절이 가능한 상승형 임시 난간을 설치하므로 추가 안전난간 설치가 필요하여 경제성이 낮다. 수평틀형 난간 설치공법은 하부 작업발판에서 2명이 1조가 되어, 난간 설치 기구를 사용하여 수평틀형 안전난간을 설치하므로 작업성이 낮다. 또한, 최근 국내에서 개발한 보조수직재 결합형 수평 선행안전난간 설치공법은 수평난간과 결합하는 보조수직재가 추가로 필요하여 경제성이 낮다. 이러한 공법은 모두 가새를 추가로 설치해야 한다. 그러나 교차가새형 선행 공법은 수평 안전난간대(2단)와 가새재(대각재) 대신에 가새와 안전난간 역할을 동시에 하는 X형 안전난간대(교차가새+상부 안전난간 일체식)를 미리 설치하는 방법으로 시공성, 경제성 및 작업안전성이 높다. 따라서 국내 건설현장에는 교차가새형 선행 공법이 가장 적합한 것으로 분석된다.

<표 3-10> 안전난간 설치 공법 비교(계속)

구분	후행 안전난간 설치공법 (안전난간 후행공법)	선행 안전난간 설치 공법(안전난간 선행공법)	
		순차형 안전난간 설치 공법	상승형 선행안전난간 설치 공법
개요도			
출처	Scaffolding in New Zealand (WorkSafe New Zealand, 2016)	Scaffolding in New Zealand (WorkSafe New Zealand, 2016)	www.layher.co.nz
특징	작업발판 설치 이후에 안전난간 설치로 추락 위험	상부 안전난간 설치를 위한 임시(추가) 작업발판 설치 필요	길이조절이 가능한 상승형 안전난간을 이용하여 매단별 안전난간을 상승시켜 설치
작업성	보통	매우 낮음	낮음
운반 및 보관의 용이성	보통	낮음	낮음
경제성	보통	매우 낮음	낮음
브레이싱 설치 필요성	필요	필요	필요
기존 수평 안전난간 설치 필요성	필요	필요	필요
설치중 추락 위험성	매우 높음	낮음	낮음
설치후 추락 위험성	매우 낮음	매우 낮음	매우 낮음
비고	비계 설치·해체 중 추락 위험 상존	추가 설치된 작업발판 위에서 작업 중 추락 위험	상승형(텔레스코픽) 안전난간 상승후 안전난간 재설치 필요

<표 3-10> 안전난간 설치 공법 비교

구분	선행안전난간 설치 공법(안전난간 선행공법)		
	수평틀형 선행 안전난간 설치 공법	교차가새형 선행안전난간 설치 공법	보조수직재 결합형 수평 선행안전난간 설치 공법
개요도			
출처	www.haki.com	건설현장 비계작업안전 실무 안내서(고용노동부·안전보건공단·부산도시공사, 2019)	특허출원번호 : 10-2020-0132931 특허출원일 : 2020.10.14.
특징	2명의 작업자가 하부에서 보조기구를 이용하여 수평틀형 안전난간을 설치	교차가새형 선행안전난간은 가새와 안전난간을 역할을 함.	보조수직재 설치후 수평난간대를 결합하는 구조로 별도의 보조수직재 필요
작업성	낮음	높음	높음
운반 및 보관의 용이성	낮음	낮음	높음
경제성	낮음	높음	보통
브레이싱 설치 필요성	필요	불필요	필요
기존 수평 안전난간 설치 필요성	불필요	불필요	불필요
설치중 추락위험성	매우 낮음	매우 낮음	매우 낮음
설치후 추락위험성	매우 낮음	매우 낮음	매우 낮음
비고	2명이 1조로 작업	교차가새가 가새와 안전난간 역할	수직재와 수평재 분리 가능

3.4.2 경제성 분석

동일 조건에 대한 후행 공법(CGS, Conventional Guardrail System Scaffolding)과 교차가새형 선행 공법(AGS, Advanced Guardrail System Scaffolding(X-Type))의 경제성 비교 결과는 <표 3-11>과 같다. 교차가새형 선행 공법(X형)이 후행 공법에 비해 총액 기준 6.9%의 비용 절감 효과가 있는 것으로 분석되었다.

<표 3-11> 후행공법과 선행공법(X형)의 경제성 비교

(단위 : 천원)

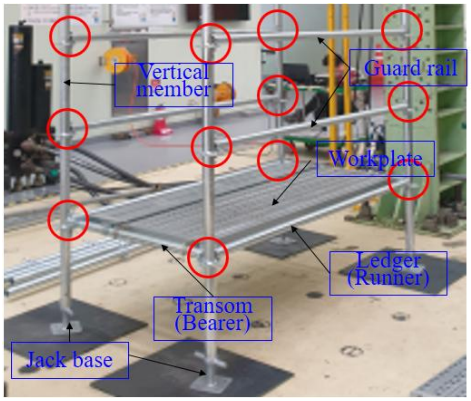
구분	후행공법	선행공법(X형)	비용 감소율(%)
합계	37,403	34,807	6.9%
기본료	1,905	1,662	12.8%
임대비	14,301	13,186	7.8%
인건비	20,063	18,990	5.3%
운반비	1,135	970	14.5%

또한, 해당작업의 시공성을 간접적으로 파악할 수 있는 인건비 측면에서도 교차가새형 선행 공법이 약 5.3%의 비용 절감 효과가 있는 것으로 나타났다. 이러한 비용 절감 효과를 확인하기 위해 [그림 3-14]와 같이 시스템비계(선행 공법과 후행 공법)를 1단 조립후 전체 중량 등을 비교 분석한 결과는 <표 3-12>와 같다. 선행 공법은 기존 시스템비계의 수직재, 장선재 등을 그대로 사용하고, 수평 안전난간대(2단)와 띠장 대신에 교차가새형 선행안전난간대를 설치한 결과 후행 공법 대비 전체 중량 기준으로 17.8% 감소하였고, 총부재수는 22.2% 감소한 것으로 나타났다. 또한, 수직재와 안전난간(또는 띠장)의 연결점은 33.3% 감소한 것으로 분석되어, 선행 공법은 후행 공법 대비 재료비 감소, 작업시간 단축 등 경제성과 시공성이 우수한 것으로 분석되었다.

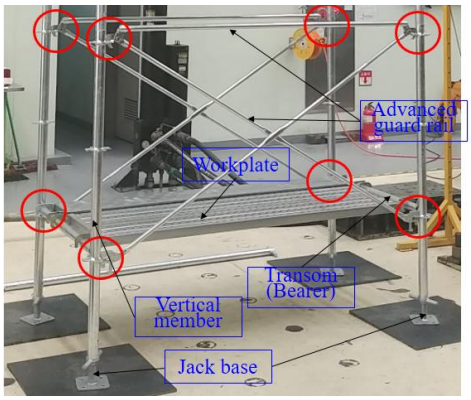
<표 3-12> 시스템비계 1단의 총중량과 연결부 비교

(단위 : kgf, 개)

구분	후행공법	선행공법(X형)	감소율(%)
총중량(kgf)	95.3	78.3	17.8%
부재수	18	14	22.2%
연결점수	12	8	33.3%



(가) 후행 공법



(나) 선행 공법(X형)

[그림 3-14] 시스템비계 1단 설치 모습(○ : 연결점)

3.5 소결

선행 공법의 국내 도입 타당성 분석을 위해 국내 비계작업 실태분석, 국내·외 안전기준 분석 및 경제성 분석 등 종합적 타당성을 분석한 결과는 다음과 같다.

첫째, 국내 건설현장의 강관비계와 시스템비계 설치·해체 작업의 실태분석 결과에 따르면, 국내 방호장치 안전인증 고시 등 안전인증 대상에 선행안전난간이 포함되어 있지 않아 현재까지 안전인증을 취득한 선행안전난간은 없는 상태이며, 비계 설치·해체 시 작업발판을 설치한 후 상부 작업발판으로 이동하여 안전난간을 설치하는 후행 공법을 적용하고 있어 안전난간이 설치되기 전에는 작업발판 단부로 추락할 위험성이 높은 것으로 나타났다.

둘째, 최근 3년간 건설업 중대재해 분석결과 우리나라에서 주로 사용되는 강관비계와 시스템비계에서 99명의 사망자가 발생하였고, 그중 비계 설치・해체 작업에서 27.3%(27명)가 발생되어 선행 공법의 도입이 시급한 것으로 사료된다.

셋째, 국내・외 안전난간 기준에 대한 분석 결과 일본과 미국의 안전기준은 교차가새를 중간난간대로 인정하는 등 추락방지에 유효한 구조인 경우 안전난간으로 인정하고 있다. 그러나 국내의 경우 중간난간대의 인정범위에 대한 유권해석이 없어 선진국에서 적용하고 있는 교차가새형 선행안전난간대를 국내에 적용할 수 없는 실정이다. 따라서 안전성, 시공성, 그리고 경제성이 우수한 교차가새형 선행안전난간대를 국내에 도입하기 위해서는 중간난간대에 대한 유권해석(ANSI 규격 등을 반영한 해석) 등의 제도적 개선이 필요하다.

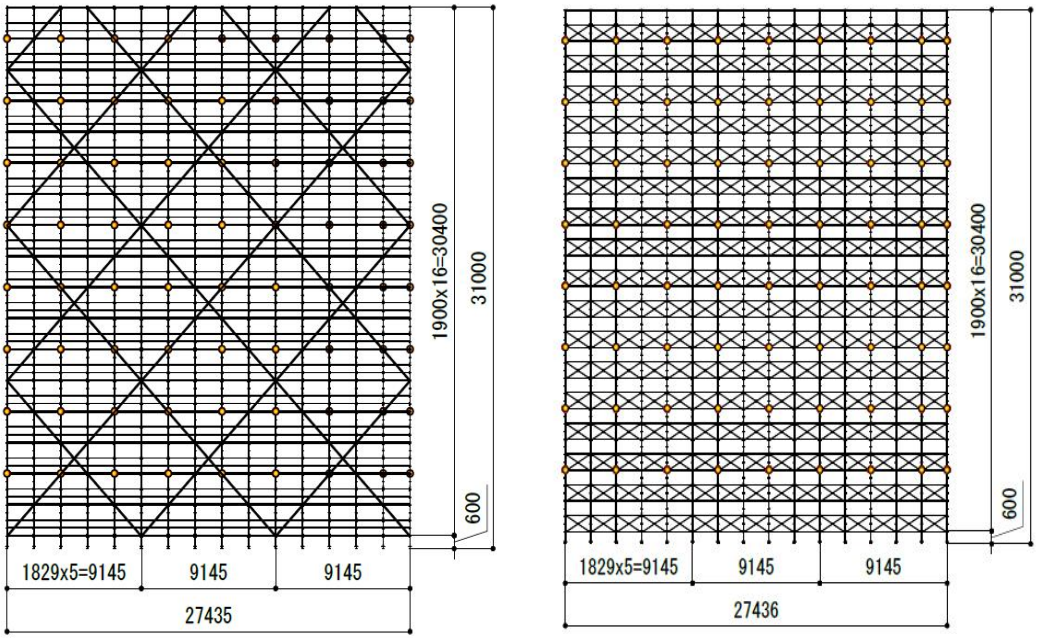
넷째, 선행 공법의 종류에는 순차형, 상승형, 수평틀형, 교차가새형, 수평난간형(보조수직재 결합) 선행안전난간 설치공법이 있으며, 시공성, 경제성 및 작업안전성이 높은 공법은 교차가새형 선행 공법인 것으로 분석되었다. 후행 공법과 교차가새형 선행 공법의 경제성 비교 분석 결과 교차가새형 선행 공법이 후행 공법에 비해 총액대비 6.9%, 인건비 대비 5.3%의 비용 절감 효과가 있는 것으로 분석되었다. 따라서 국내 건설현장의 선행공법 도입을 위해서는 선행안전난간에 대한 안전인증 기준을 마련하는 등 제도적 개선이 필요하다.

4. 구조해석을 통한 구조성능 평가

4.1 연구 필요성 및 평가방법

본 장의 연구 대상이 되는 교차가새형 선행 공법은 국내에 적용사례가 없기 때문에 선행 공법의 국내 도입을 위해 높이 31m의 시스템비계에 대해 설계기준에 따른 구조해석(선형해석)을 통해 기존 공법(후행 공법)과 교차가새형 선행 공법의 구조안전성에 대해 비교 평가하였다. 그 방법은 교차가새형 선행 공법을 적용한 시스템비계(전체 높이 : 31m)에 대해 비계 및 안전시설물 설계기준(KDS 21 60 00 : 2020) 및 강구조설계(허용응력설계법)기준에 따라 구조해석후 각 부재의 최대응력이 허용응력 범위 이내인지와 일부 구간이 압착되어 좌굴에 불리한 교차가새재가 세장비 제한기준을 만족하는지를 평가하였다. 또한, 구조해석결과 교차가새재가 세장비 제한기준을 초과할 경우 가새재(1개)에 작용하는 축력(Axial Force) 대비 가새재(1개)의 극한하중(최대압축성능) 시험값에 대한 비율(안전율)이 설계기준에서 규정하고 있는 압축재의 안전율(3이상)을 만족하는지를 평가하였다. 그리고 교차가새형 선행 공법과 동일 규모(전체 높이 31m)의 후행 공법에 대한 구조해석 결과에 따라 부재별 최대응력비, 최대변위, 수직재의 최대축력, 최대반력, 자중, 가새재의 세장비 등 구조성능을 비교 평가하였다.

시스템비계의 설치 높이가 31m 이상인 비계는 비계 및 안전시설물 설계기준(KDS 21 60 00 : 2020)에 따라 3차원 구조해석을 수행하도록 규정하고 있다. 본 연구는 이를 고려해 [그림 4-1]과 같이 후행 공법(대각재 9.1m 마다 교차 설치)과 교차가새형 선행 공법에 대한 구조해석용 비계를 동일하게 정의하였다. 구조해석용 비계의 전체 크기는 지상 10층 규모의 건축물(예 : 오피스텔 등)의 외부에 설치하는 시스템비계를 기준으로 높이 31m, 너비(띠장 방향) 27.4m, 깊이(장선 방향) 0.61m으로 설정되었다. 시스템비계의 수직재 간격(띠장방향)은 1.829m이며, 띠장 간의 수직 간격은 1.9m로 정의되었다. 또한, 벽이음 간격은 X축 방향(띠장방향)과 Z축 방향(수직방향)으로 3.658m와 3.8m로 설치되었다. 안전난간은 외측에만 설치하였고, 내측(구조물측)에는 설치하지 않았는데 그 이유는 구조물과 비계간 간격을 30cm 이내를 유지하면 후면에는 설치하지 않을 수 있기 때문이다. 구조해석은 범용 구조해석 프로그램인 MIDAS-GEN(2020 Ver, ㈜마이다스아이티)을 사용하였다.

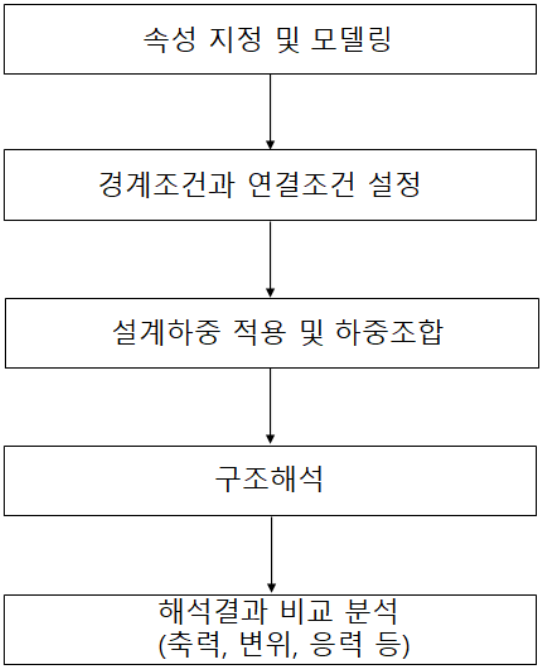


(가) 후행공법의 시스템비계 (나) 선행공법(X형)의 시스템비계

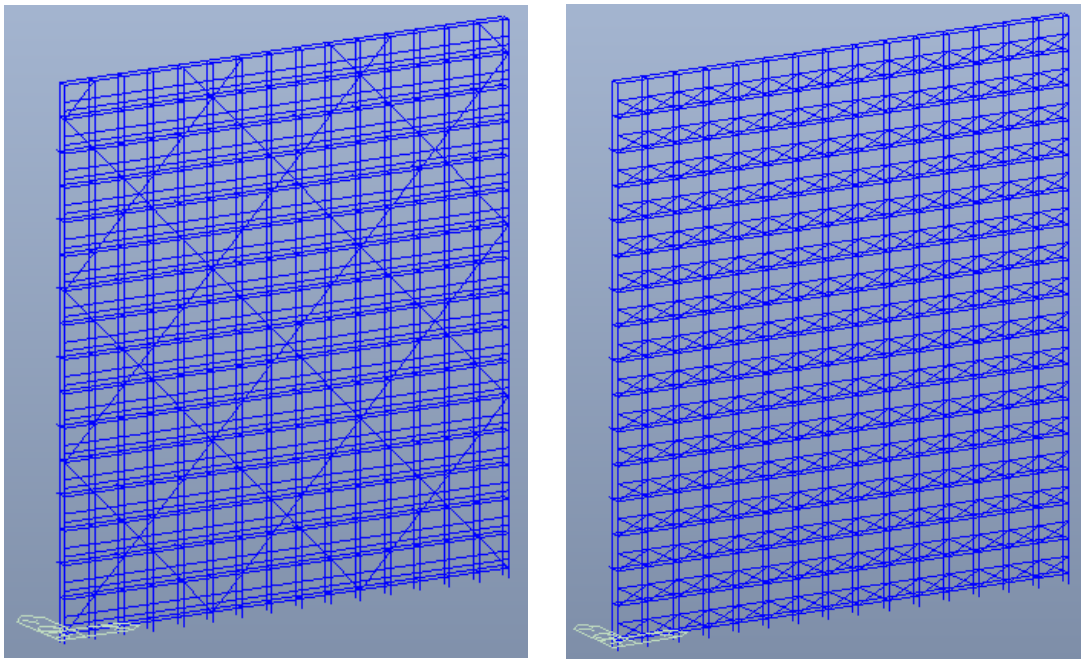
[그림 4-1] 시스템비계 구조도 (단위 : mm)

4.2 구조해석 절차 및 방법

후행 공법과 교차가새형 선행 공법을 적용한 시스템비계의 구조해석은 [그림 4-2]와 같이 5단계로 진행하였다. 첫 번째 단계는 구조해석을 위한 기초 속성(예: 크기, 강재 등급, 항복강도)을 지정한다. 교차가새형 선행 공법과 후행 공법을 적용한 시스템비계의 기초 속성은 <표 4-1>과 같이 기본적으로 동일한 조건으로 설정하였으며, 강재의 탄성계수(E)는 210,000MPa을 적용하였다. 다만, 교차가새형 선행 공법에만 적용되는 속성은 교차가새형 선행안전난간의 특성을 고려하여 설정되었다. 예를 들면, 교차가새형 선행 공법의 선행안전난간은 상부난간대와 교차가새가 일체로 제작되어 안전난간이 가새재 역할을 한다. X형의 선행 난간 가새재는 2개가 서로 교차되어 설치되기 때문에 교차부에서의 간섭을 최소화하기 위해 가새재 중앙부를 편평([그림 4-4] 참조, 길이 약 13cm)하게 제작하여 설치되나, 구조검토 시에는 강관 형상(원형)으로 가정하였다. 따라서 구조검토 결과와 실물 실험을 통해 가새재의 압축에 대한 안전율 만족여부에 대해서는 별도로 평가하였다. 또한, 후행 공법에는 작업발판의 내측(구조물 인접부)과 외측에 띠장을 각각 설치하였으나, 교차가새형 선행 공법은 수직재에 체결되는 교차가새 연결부와 띠장 연결부의 간섭으로 실제 띠장 설치가 어려우므로 현장에서 적용되는 조건과 동일하게 작업발판의 내측(구조물측)에만 띠장을 설치하였다. 이에 따른 모델링 결과는 [그림 4-3]와 같다.



[그림 4-2] 구조해석 수행과정

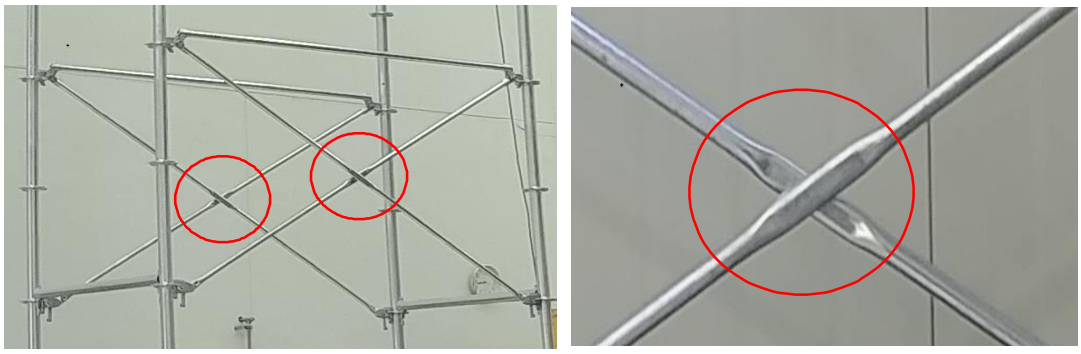


(가) 후행공법 (나) 선행공법(X형)

[그림 4-3] 시스템비계의 구조해석 모델링

<표 4-1> 부재의 물성치 및 제원

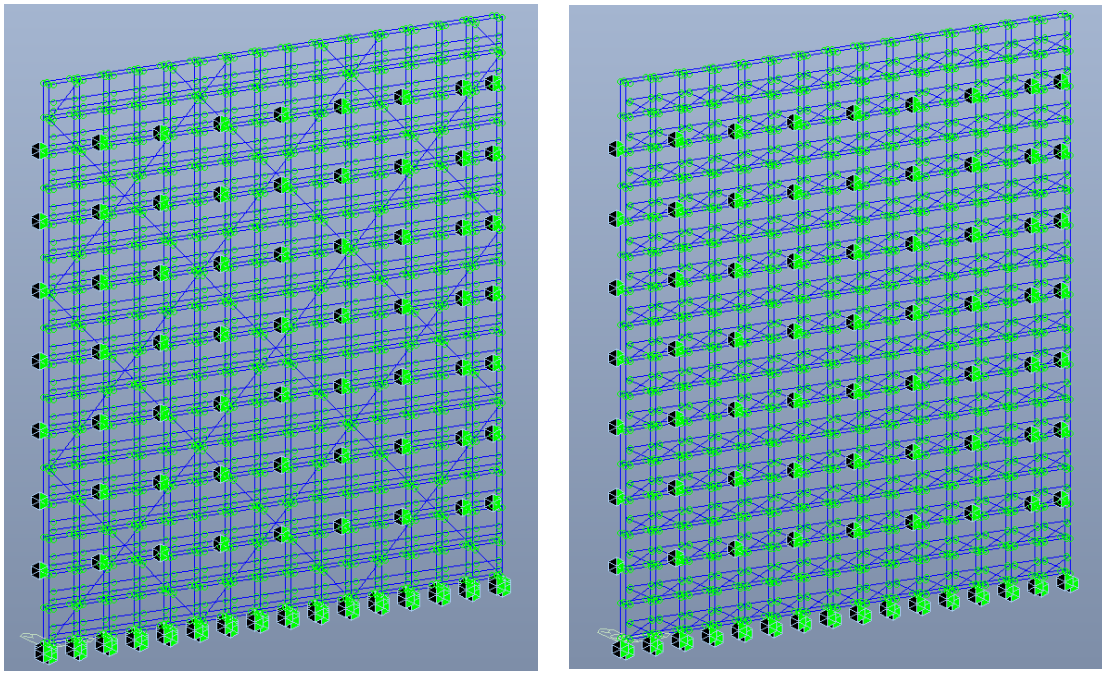
구분	후행 공법			선행 공법(X형)		
	크기	강종	항복강도	크기	재질	항복강도
수직재	φ48.6, 2.3 t	SGT355	355MPa	φ48.6, 2.3 t	SGT355	355MPa
잭베이스	φ34	SS275	275MPa	φ34	SS275	275MPa
띠장	φ42.7, 2.3 t	SGT275	275MPa	φ42.7, 2.3 t	SGT275	275MPa
장선	φ42.7, 2.3 t	SGT275	275MPa	φ42.7, 2.3 t	SGT275	275MPa
벽이음재	φ42.7, 2.3 t	SGT275	275MPa	φ42.7, 2.3 t	SGT275	275MPa
후행공법의 가새(대각재)	φ42.7, 2.3 t	SGT275	275MPa	-	-	-
후행공법의 안전난간대	φ42.7, 2.3 t	SGT275	275MPa	-	-	-
선행공법(X형)의 상부난간대	-	-	-	φ27.2, 1.6 t	SGT275	275MPa
선행공법(X형)의 교차가새재	-	-	-	φ21.7, 1.6 t	SGT275	275MPa



(가) X형 가새의 교차부 (나) 교차부 상세

[그림 4-4] 선행안전난간의 X형 가새 교차부와 상세사진

두 번째 단계는 비계 구성부재의 경계조건(Boundary condition)과 연결부 및 받침부에 대한 특성을 설정한다. 비계 및 안전시설물 설계기준(KDS 21 60 00 : 2020)에 따라 비계 연결조건을 고려하여 수직재와 수직재의 연결은 연속부재, 수직재와 가새재의 연결부 및 받침부는 힌지를 적용하였으나, 수직재와 수평재 연결부(Wedge 형태) 회전강성은 기존 실험 연구(김경윤 등, 2017 ; 원정훈 등 2018)와 강구조설계기준에 따라 전단(단순) 접합 시 전문가의 판단에 따라 최대 20%까지 적용(한국강구조학회, 2011)할 수 있어, 본 연구는 비계 설계 시 실무에서 범용적으로 사용하고 있는 10%로 가정하였으며, 그 결과는 [그림 4-5]와 같다. [그림 4-5]의 경계조건 중 받침부와 벽이음의 육각형( )의 의미는 X, Y, Z 방향 이동(Dx, Dy, Dz)에 대해서는 구속(Fixed)한 구조를 의미하고, X, Y, Z 방향 회전(Rx, Ry, Rz)에 대해서는 비구속(Pin) 구조를 나타낸다.



(가) 후행공법 (나) 선행공법(X형)

[그림 4-5] 구조해석 모델링의 경계조건

세 번째 단계는 비계에 작용하는 설계하중을 설계기준에 따라 <표 4-2>와 같이 비계자중, 발판 중량, 작업하중, 최소 수평하중 및 풍하중을 적용하였다. 비계자중은 구조해석 프로그램 내에서 자동으로 계산되며, 발판 중량(dead load)은 각 단마다 0.2kN/m^2를 적용하였다. 작업하중(live load)은 가장 불리한 3.5kN/㎡(돌붙임공사)을 적용하였고, 풍하중(basic wind speed)은 서울지역의 기본풍속인 26m/sec를 적용하였다. 수평하중은 최소수평하중(연직하중의 5%)과 풍하중 중 큰 값에 대해 비계 전면과 측면에 각각 적용하였다. 구조검토 시 적용한 하중조합은 <표 4-3>과 같다.

<표 4-2> 비계에 작용하는 하중

하중 종류	하중값	
고정하중(D)	0.2kN/m^2	
활하중(Li)	3.5kN/m^2(돌붙임공사)	
최소수평하중(M)	풍하중과 (고정하중+활하중)×5% 중 최댓값	
풍하중(W)	설계기본풍속(Vo)	26m/s(서울지역)
	노풍도	C
	중요도계수(Iw)	0.6
	가스트 영향계수	계산결과 반영

<표 4-3> 하중조합

CASE	하중조합	허용응력증가계수	비고
1	D + Li + M	1.00	D : 고정하중(비계와 작업발판의 중량) Li : 활하중 M : 최소수평하중 W : 풍하중
2	D + W	1.25	

네 번째 단계는 구조해석 모델링에 대해 경계조건, 연결조건, 설계하중 및 하중조합 등을 적용한 후 구조해석을 실시한다. 마지막 단계는 후행 공법과 교차가새형 선행 공법을 적용한 시스템비계의 구조해석 결과를 비교・분석한다. 본 장에서는 후행 공법과 교차가새형 선행 공법을 적용한 시스템비계의 부재별 최대응력이 해당 부재의 허용응력 이내인지 여부 등 설계기준(세장비 제한 기준 포함)을 만족하는지 여부에 대해 확인하였고, 두 공법의 응력 비(최대 응력/허용 응력)와 최대변위 등 주요 구조성능을 비교평가하였다.

4.3 구조해석 결과

후행 공법과 교차가새형 선행 공법을 적용한 시스템비계의『비계 및 안전시설물 설계기준(KDS 21 60 00: 2020)』에 따른 구조해석 결과 최대응력비는 <표 4-4>와 같으며, 최대반력, 최대변위 등 주요 구조성능에 대한 비교 값은 <표 4-5>와 같다. 후행 공법과 교차가새형 선행 공법의 부재별 최대응력은 설계기준의 허용응력을 충족하는 것으로 나타났다. 또한, 후행 공법과 교차가새형 선행 공법은 수직재・띠장 및 장선에 대한 조합응력비가 비슷한 수준(수직재 0.591:0.553, 띠장 0.843:0.844, 장선 0.318:0.306)인 것으로 분석되었다. 그러나 잭베이스의 조합응력비는 교차가새형 선행 공법(0.337)이 후행 공법(0.578)보다 41.7% 작은 것으로 나타났으며, 벽이음재의 조합응력비는 교차가새형 선행공법(0.315)이 후행공법(0.358)보다 12.0% 작은 것으로 나타났다. 축응력비에 대한 검토결과 띠장의 경우 교차가새형 선행공법은 0.008이고, 후행공법은 0.006으로 응력비가 매우 낮게 나타났으며, 장선의 경우에도 교차가새형 선행공법은 0.003이고, 후행공법은 0.001로 응력비가 매우 낮게 나타나, 축력에 대해서는 안전율에 여유가 많은 것으로 평가되었다. 작업발판의 자체중량을 포함한 시스템비계의 자중에 대한 분석결과 교차가새형 선행공법(123.61kN)은 후행 공법(138.32kN) 대비 10.6%(14.71kN) 작게 나타났다.

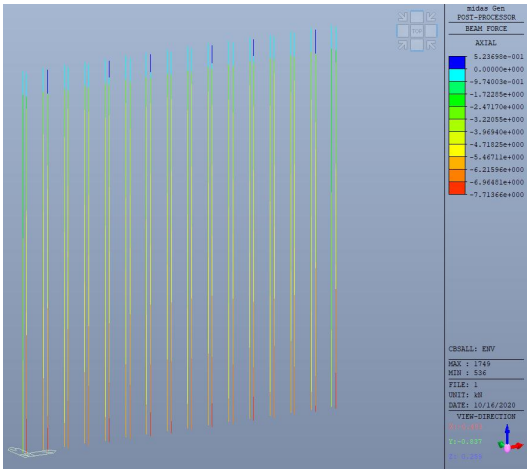
<표 4-4> 후행공법과 선행공법(X형)의 최대응력비 비교

구분		축응력비 (fa/Fa)	휨응력비 (fb/Fb)	조합응력비 (fa/Fa+fb/Fb)	기준 만족여부
수직재	후행 공법	0.041	0.550	0.591	O.K.
	선행공법(X형)	0.048	0.505	0.553	O.K.
잭베이스	후행 공법	0.100	0.478	0.578	O.K.
	선행공법(X형)	0.063	0.274	0.337	O.K.
띠장	후행 공법	0.008	0.835	0.843	O.K.
	선행공법(X형)	0.006	0.837	0.844	O.K.
장선	후행 공법	0.003	0.315	0.318	O.K.
	선행공법(X형)	0.001	0.304	0.306	O.K.
벽이음재	후행 공법	0.040	0.276	0.315	O.K.
	선행공법(X형)	0.000	0.351	0.358	O.K.
후행공법의 가새(대각재)	후행 공법	0.588	0.029	0.659	O.K.
	선행공법(X형)	-	-	-	-
후행공법의 안전난간대	후행 공법	0.001	0.084	0.085	O.K.
	선행공법(X형)	-	-	-	-
선행공법(X형)의 상부난간대	후행 공법	-	-	-	-
	선행공법(X형)	0.105	0.032	0.137	O.K.
선행공법(X형)의 교차가새재	후행 공법	-	-	-	-
	선행공법(X형)	0.640	0.047	0.770	O.K.

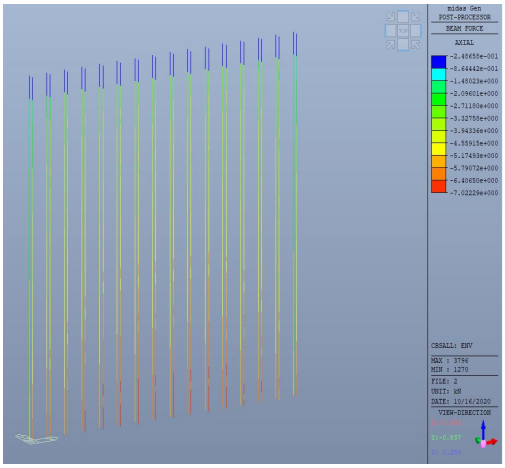
<표 4-5> 후행공법과 선행공법(X형)의 구조성능 비교

구분		후행공법	선행공법(X형)	비고
수직재의 최대축력(kN)		7.71	7.02	
최대반력(kN)		11.36	7.58	
자중(kN)		138.32	123.61	작업발판의 자중 포함
최대변위(mm)		83.2	88.2	
가새 (Bracing)	세장비	184.4	289.1	기준 : 200 이내
	최대축력(kN)	-	0.836	
	극한하중(kN)	-	2.624	
	안전율	-	3.13	기준 : 3 이상

비계 수직재와 잭베이스의 축력 분포는 [그림 4-6] 및 [그림 4-7]과 같다. 수직재의 최대축력은 교차가새형 선행 공법(7.02kN)이 후행 공법(7.71kN) 보다 약 8.9%(0.69kN) 작았으며, 잭베이스의 최대축력은 교차가새형 선행 공법(7.57kN)이 후행 공법(11.34kN) 보다 약 33.2%(3.77kN) 작았다. 또한, 최대반력은 [그림 4-8]과 같이 교차가새형 선행 공법이 후행공법 보다 약 33.3%(3.78kN) 작게 나타났다.

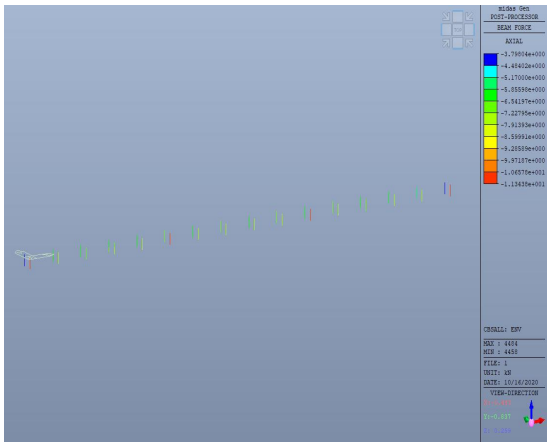


(가) 후행공법

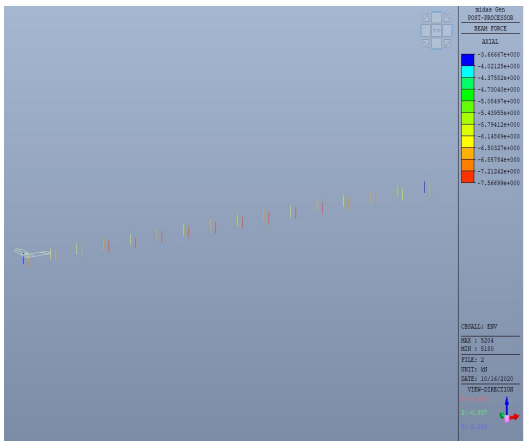


(나) 선행공법(X형)

[그림 4-6] 시스템비계 수직재의 최대축력

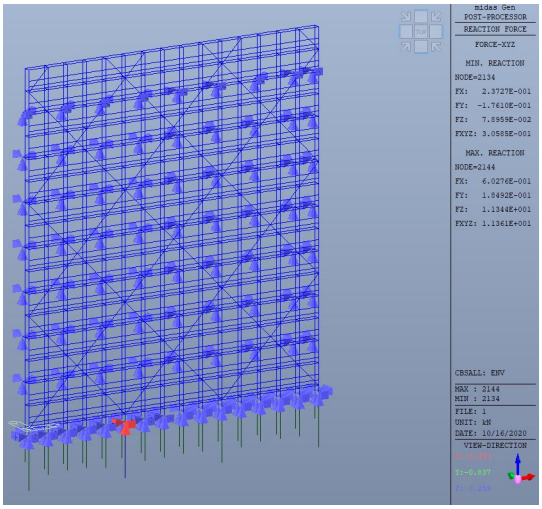


(가) 후행공법

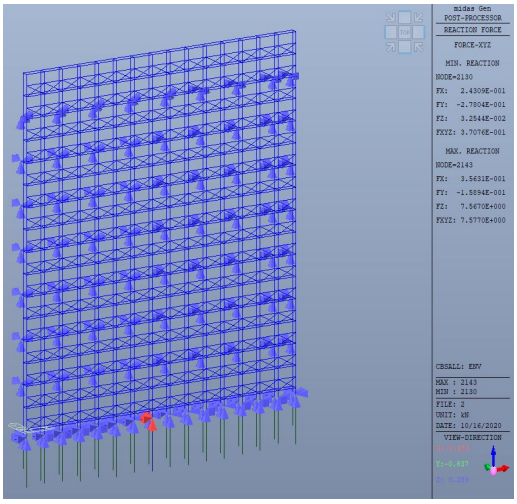


(나) 선행공법(X형)

[그림 4-7] 시스템비계 잭베이스의 최대축력



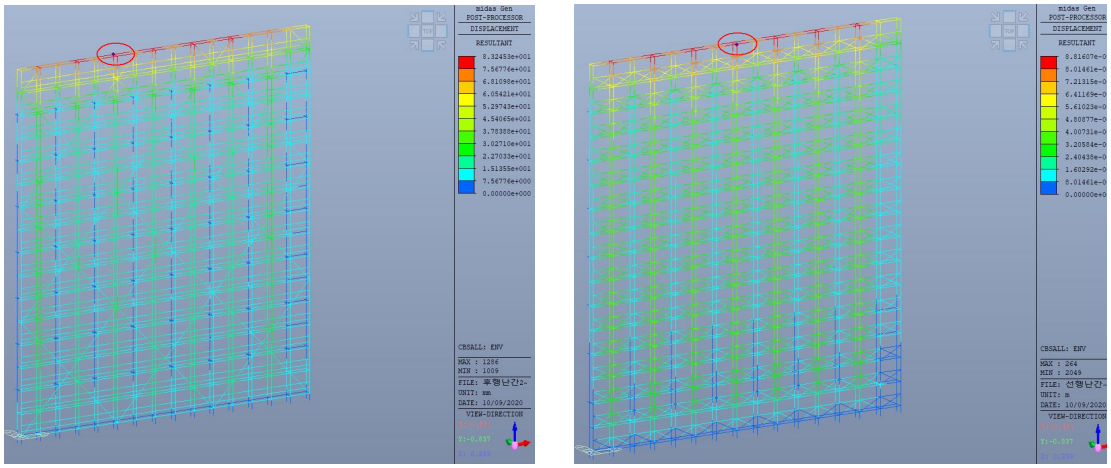
(가) 후행공법



(나) 선행공법(X형)

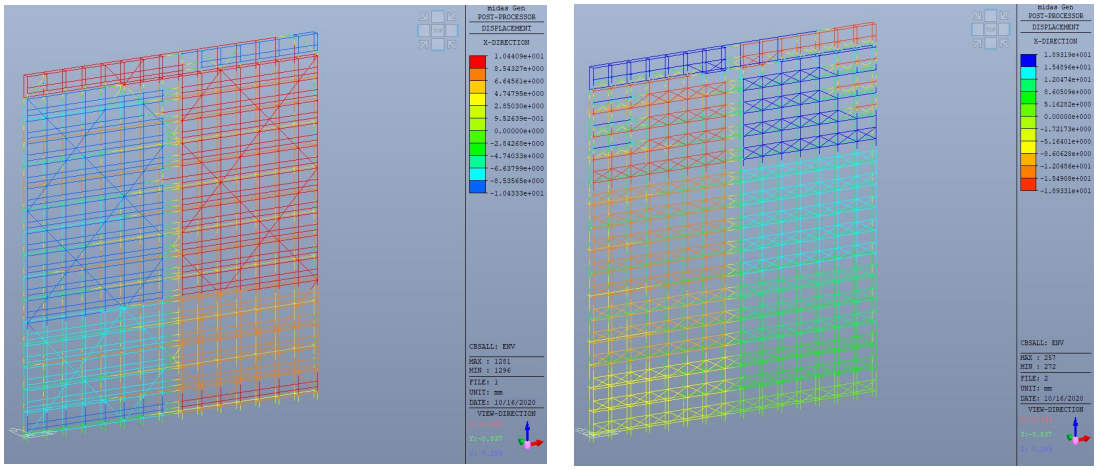
[그림 4-8] 시스템비계의 최대반력

반면, 최대변위는 [그림 4-9]과 같이 교차가새형 선행 공법(88.2mm)이 후행 공법(83.2mm) 보다 6%(5mm) 큰 것으로 나타났으며, 시스템비계의 최상단 수직재와 수평재 교차부([그림 4-9]의 적색원)에서 발생하였다. 시스템비계의 공법별 변위에 대한 상세 분석 결과 X방향 최대 변위는 [그림 4-10]와 같이 교차가새형 선행 공법(18.9mm)이 후행 공법(10.4mm) 보다 81.7%(8.5mm) 큰 것으로 나타났으나, 총변위 차는 8.5mm로 미미하였으며, Y방향 최대 변위는 [그림 4-11]과 같이 교차가새형 선행 공법(86.1mm)이 후행 공법(82.6mm) 보다 4.2%(3.5mm) 큰 것으로 나타났다.



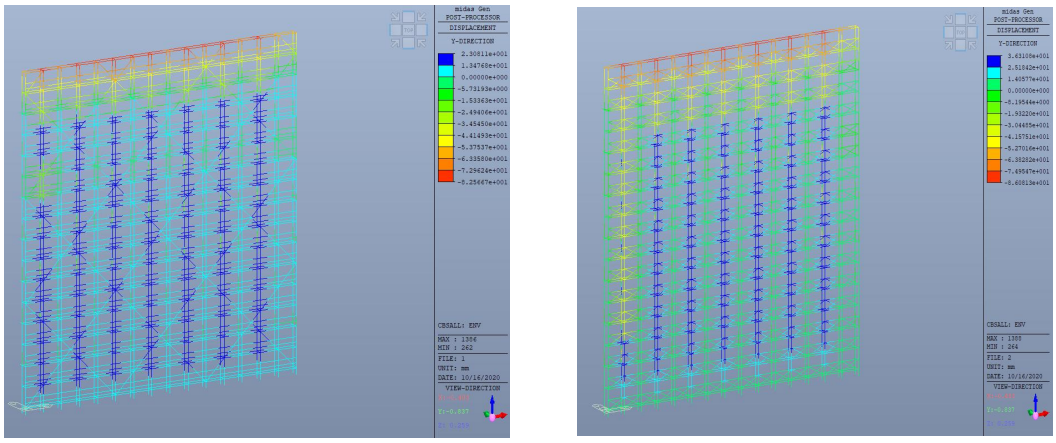
(가) 후행공법 (나) 선행공법(X형)

[그림 4-9] 시스템비계의 최대변위도



(가) 후행공법 (나) 선행공법(X형)

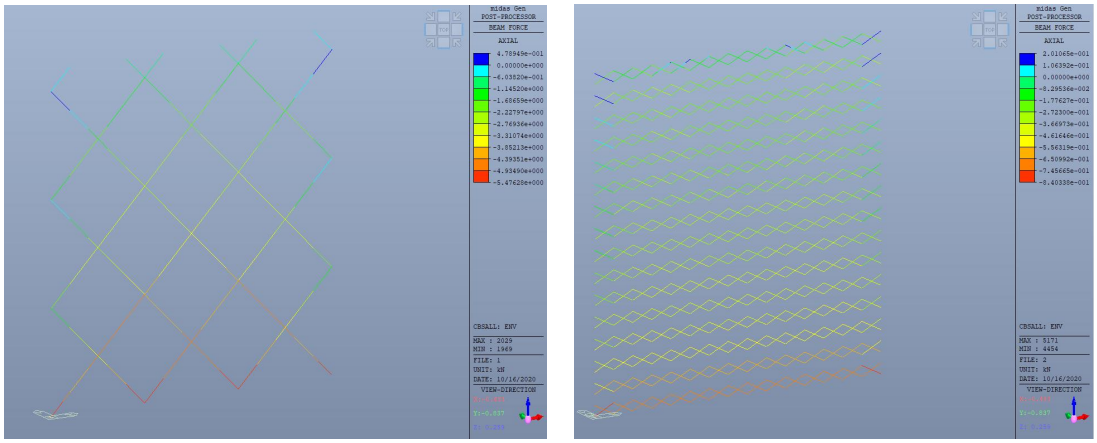
[그림 4-10] 시스템비계의 X방향 최대변위도



(가) 후행공법 (나) 선행공법(X형)

[그림 4-11] 시스템비계의 Y방향 최대변위도

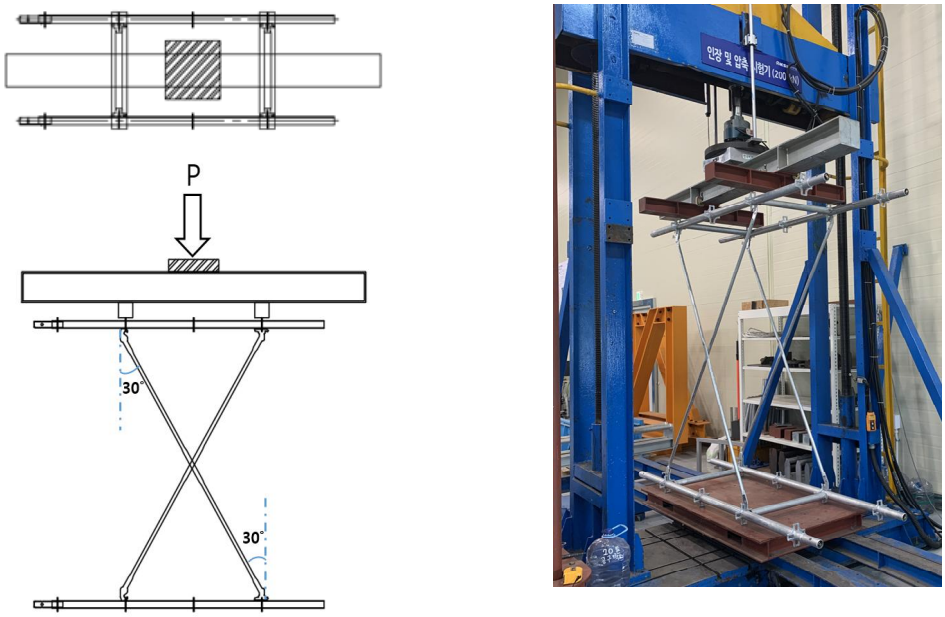
후행 공법 가새재(φ42.7mm)의 세장비(KL/r)는 184.4인 반면, 교차가새형 선행 공법의 X형 가새재(φ21.7mm) 세장비는 289.1로 압축재의 세장비 제한기준(200)을 초과한 것으로 분석되었으며, 교차가새재의 최대 작용하중(최대축력)은 [그림 4-12]의 (나)와 같이 0.836kN으로 나타났다. X형 가새재의 경우 세장비가 설계기준(200)을 초과하고, 구조해석 시 가새의 압착부를 원형으로 가정하였기 때문에 구조안전성 확인이 필요하다. 이에 따라 [그림 4-13]과 같이 교차가새(상부난간 제거)의 압축성능 시험(3회)을 실시한 결과(<표 4-6> 참조) 최솟값은 9.091kN으로 가새재 1개당 극한하중(최대압축성능)은 2.624kN (9.091kN/4개/COS 30°)으로 계산되었다.



(가) 후행공법 (나) 선행공법(X형)

[그림 4-12] 시스템비계의 가새재 최대축력

교차가새의 압축에 대한 안전율은 최대작용하중(최대압축력) 대비 극한하중(최대압축성능)의 비로 산정하였으며, 해당 안전율은 3.13(2.624kN /0.836kN)으로 비계 및 안전시설물 설계기준에서 규정하고 있는 압축재의 안전율(3이상)을 만족하는 것으로 평가되었다.



(가) 평면도와 정면도　　(나) 극한하중 실험 모습

[그림 4-13] 교차가새의 극한하중 실험

<표 4-6> 교차가새의 극한하중　　(단위 : kN)

구분	평균	시험1	시험2	시험3
극한하중	9.413	9.091	9.159	9.990

4.4 소결

본 연구의 구조해석 결과 교차가새형 선행 공법의 교차가새 단면(φ21.7, 1.6t)이 후행 공법 가새(대각재)의 단면(φ42.7, 2.3t)보다 작아도 부재별 최대응력은 설계기준의 허용응력을 충족하는 것으로 나타났으며, 수직재・띠장 및 장선에 대한 조합응력비는 비슷한 수준으로 분석되었다. 특히, 잭베이스와 수직재의 조합응력비는 교차가새형 선행 공법이 후행 공법에 비해 각각 41.7%와 6.4%가 감소하였다. 반면, 최대 변위는 후행 공법이 교차가새형 선행 공법보다 6% 작았다. 이러한 경향성은 교차가새형 선행 공법이 비계 구조물 전체 구간에 설치한 교차가새형(X형) 선행 난간의 가새 역할로 하중의 분산 효과가 있으며, 단면 축소와 부재수 감소에 따른 자중 감소(10.6%, 작업발판 포함)의 영향으로 후행 공법에 적용된 가새에 비해 상대적으로 부재의 단면이 작아도 구조적 안전성을 확보할 수 있다고 해석될 수 있다. 그러나 비계는 가새재와 벽이음의 배치 방법과 부재간 연결조건에 따라 최대응력비와 최대변위 등 구조성능에 차이가 발생할 수 있으므로 본 연구에서 모델링한 조건에 한정한 비교 분석결과임에 유의하여야 한다.

교차가새형 선행 공법을 적용한 시스템비계의 세장비(KL/r)는 압축부재의 세장비 제한기준을 초과하는 것으로 나타났다. 비계 설계는 강구조 부재 설계기준(허용응력설계법)에 따라 세장비 제한 기준(200이내)을 충족하는 것이 가장 이상적이다. 후행 공법의 대각재(가새재) 세장비는 184.4로 세장비 제한 기준에 적합한 것으로 분석되었다. 그러나 교차가새형 선행 공법의 X형 가새재에 대한 세장비는 289.1로 설계기준을 초과하는 것으로 파악되었다. 비록 교차가새형 선행 공법의 X형 가새재가 세장비 기준을 초과하여도 실물실험에서 가새재에는 좌굴 등의 변형이 발생하지 않는 것으로 관찰되었으며, 구조해석결과 가새재의 최대축력(0.836kN/개) 대비 극한하중 시험에 따른 최대압축성능(2.624kN/개)의 비가 3.13으로 설계기준에서 규정하고 있는 압축재의 안전율(3이상)을 충족하는 것으로 평가되었다.

<표 4-7> 강구조설계의 세장비 제한 기준

구분	압축재의 세장비 제한 기준
강구조설계(허용응력 설계법) (출처 : KDS 14 30 10 : 2019)	압축재의 세장비(KL/r)는 200을 초과하지 않아야 함.
강구조설계(하중저항계수설계법) (출처 : KDS 14 31 10 : 2017)	압축재에 기초하여 설계되는 부재의 세장비(KL/r)는 가급적 200을 넘지 않도록 함.
건축구조기준 및 해설 (출처 : 한국강구조학회, 2016)	압축재의 세장비(200) 제한 기준은 강제조항이었으나, 현 기준에는 제한사항이 아닌 권고사항으로 변경됨.

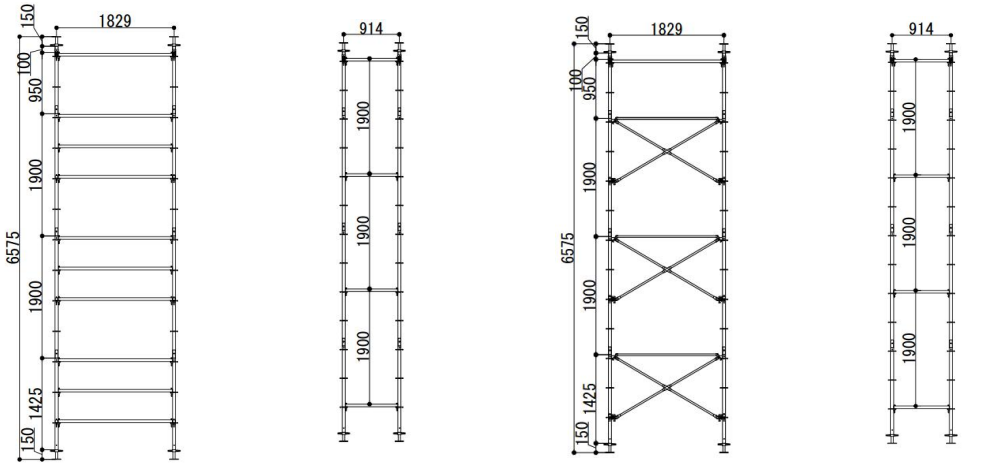
설계기준의 세장비는 <표 4-7>의 강구조 부재 설계기준(하중저항계수설계법)과 건축구조기준 및 해설(2016)과 같이 강제기준이 아닌 권고 기준으로 변하고 있는 추세이다. 따라서 비계의 2차(보조)부재(예: 교차가새)가 세장비 제한기준을 초과할 경우 구조해석에 따른 해당 부재의 최대작용하중 대비 극한하중(최대압축성능)에 대한 비율(안전율)이 설계기준에서 규정하고 있는 안전율 이상이면 구조안전성이 확보될 수 있어 『비계 및 안전시설물 설계기준』의 세장비 제한기준은 권고사항으로 개정이 필요하다.

5. 실물실험을 통한 구조성능 평가

5.1 연구 필요성 및 평가방법

본 연구의 대상이 되는 교차가새형 선행 공법의 국내 건설현장 적용을 위해 4장에서 실시한 구조해석(선형해석) 결과 교차가새형 선행 공법이 후행 공법 대비 구조성능이 동등하거나, 일부 우수한 것으로 평가되어 실제 조립된 시스템비계의 구조성능을 평가하기 위해 시스템비계 조립체(높이 6.575m)의 극한하중 시험을 실시하였다. 실물실험을 통한 구조성능 평가는 소규모 건축현장(5층 이하)에서 일반적으로 적용하는 가새재 미설치 조건의 후행 공법과 교차가새형 선행 공법을 적용한 시스템비계 조립체(전체 높이 6.575m, 수직방향 3단)의 극한하중 시험을 통해 구조성능을 비교 평가하였다. 또한, 교차가새형 선행 공법의 시스템비계 전체 좌굴 발생 시 가새재의 좌굴 발생 여부와 연결부(후크 등)의 탈락 여부를 확인하였고, 현행 설계기준의 세장비 제한 기준의 적정성에 대해 평가하였다.

먼저 실물실험은 국내 건설현장에서 사용되고 있는 후행 공법의 시스템비계 조립체와 동일 규모의 교차가새형 선행 공법을 적용한 시스템비계 조립체에 대해 극한하중(최대압축성능)과 거동을 분석하였다.

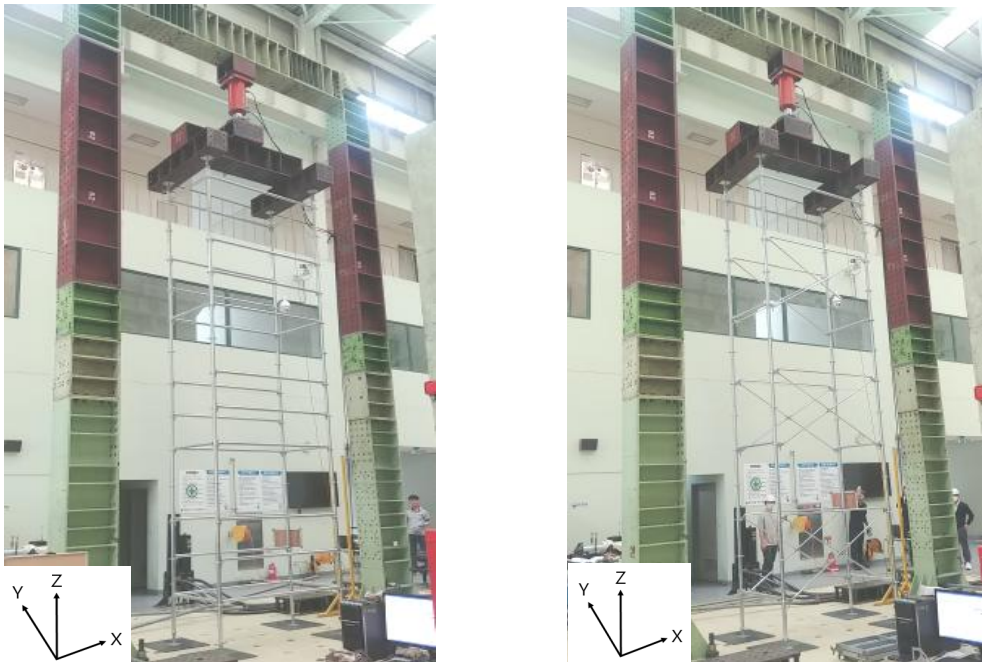


[그림 5-1] 시스템비계 조립체 조립도(단위 : mm)

국내에는 시스템비계의 조립체 시험기준이 없기 때문에 미국의 ANSI 실험법(ANSI, 2002)과 산업안전보건연구원에서 제안한 시스템비계의 안전인증 성능기준 및 성능평가(조립체 높이 5m 이상, 3단 이상) 방법(산업안전보건연구원, 2019)에 따라 [그림 5-1]과 같이 전체 높이 6.575m(수직방향 3단), 띠장방향 너비(1단) 1.829m, 장선방향 깊이(1단) 0.914m로 조립한 시스템비계의 성능시험을 실시하였다.

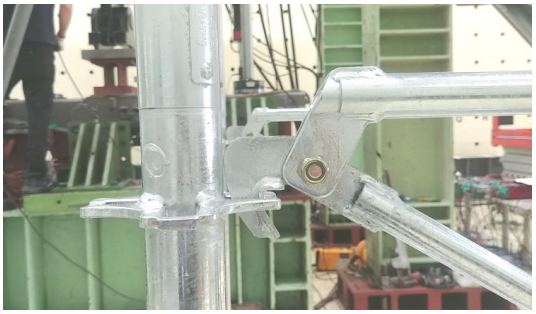
5.2 조립체의 구성 및 실험방법

실물실험 시 후행 공법 조립체는 모두 안전인증을 취득한 제품으로 구성하였고, 교차가새형 선행 공법 조립체는 X형 선행안전난간대를 제외한 나머지 부재는 후행 공법과 동일한 규격의 안전인증품을 사용하였다. 시스템비계 실험체는 현장 설치조건을 감안하여 [그림 5-2]와 같이 설치되었다. 장선재 간의 수직 간격은 1.9m로 설치하였고, 장선의 좌·우 외측 단부에는 안전난간을 설치하지 않았다. 상부 받이판 하부에는 수직재의 벌어짐에 따른 영향을 최소화하기 위해 수평재를 4면에 설치하여 폐합구조로 만들었으며, 작업발판은 설치되지 않았다. 후행 공법은 작업발판 설치(예정) 구간의 전면과 후면에 띠장을 설치하였으나, 교차가새형 선행 공법은 수직재에 체결되는 교차가새 연결부와 띠장 연결부의 간섭으로 띠장을 설치할 수 없고, 선행안전난간대를 적용한 구조성능 평가를 위해 작업발판 설치(예정) 구간의 전면과 후면 모두 띠장을 설치하지 않았다. 또한, 교차가새형 선행 공법의 수직재와 선행안전난간대 연결부는 [그림 5-3]과 같이 체결되었으며, 실험에 사용된 수직재, 수평재, 가새재 및 선행안전난간대 등의 단면치수와 재질은 [표 4-1]과 같다.



(가) 후행공법 (나) 선행공법(X형)

[그림 5-2] 시스템비계 실험체 모습



(가) 수직재와 교차가새재 상부 연결 상세 (나)수직재와 교차가새재 하부 연결 상세

[그림 5-3] 선행공법의 교차가새재와 수직재 연결부 상세 모습

조립체 시험은 압축시험기(압축능력: 2,000kN)를 사용하여 시스템비계 실험체의 구조성능을 측정하였다. 본 실험에서는 압축시험기를 사용하여 시스템비계의 실험체 상단에 압축하중을 재하하였다. 현재 국내에는 시스템비계의 표준시험 방법이 없어, 방호장치 안전인증 고시(제2020-33호)에서 규정하고 있는 재하속도(분당 8mm 이하)에 따라 분당 0.7~1.3mm를 적용하였으며, 하중(P)을 가한 후 최대 압축하중값을 측정하였다. 후행 공법과 교차가새형 선행 공법에 대해 각 3회의 시험을 실시하였다.

5.3 조립체 실험결과

조립체의 극한하중 실험결과에 따른 좌굴형상은 후행 공법의 경우 [그림 5-4]와 같고, 교차가새형 선행 공법은 [그림 5-5]와 같다. 모든 실험체는 수직재(기둥)가 전체적으로 휘어지는 전체 좌굴형상이 나타났다. 교차가새형 선행 공법 및 후행 공법 모두 Y방향(장선방향)으로 좌굴(휘어짐)이 발생하는 것으로 파악되었다. 또한, 전체 좌굴형상은 수직기둥의 최상단과 최하단이 힌지조건일 때 나타나는 사인(Sine) 형태의 좌굴형상과 유사하였다.

(가) 정면 모습

(나) 측면 모습

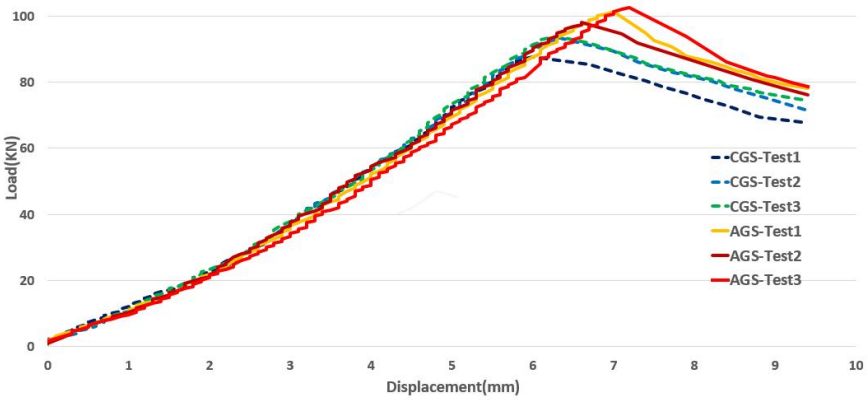
[그림 5-4] 후행공법 실험체의 좌굴 형상

(가) 정면 모습

(나) 측면 모습

[그림 5-5] 선행공법(X형) 실험체의 좌굴 형상

후행 공법(CGS, Conventional Guardrail System Scaffolding) 대비 교차가새형 선행 공법(AGS, Advanced Guardrail System Scaffolding(X-type))의 구조적 차이는 수평난간(2단)과 대각 가새 대신 교차가새형 선행난간을 설치하는 것이다. 후행 공법과 교차가새형 선행 공법 실험체의 거동 변화를 분석하기 위해 하중-수직변위 곡선을 [그림 5-6]에 나타내었다. 하중-수직변위 곡선을 분석한 결과 후행 공법과 교차가새형 선행 공법 모두 극한 하중에 도달할 때까지 하중-수직변위곡선은 거의 유사한 형태를 보이지만, 극한하중 이후 좌굴에 의해 하중이 감소한 것으로 나타났다.

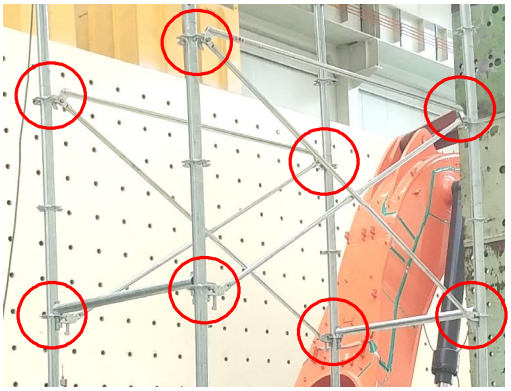


[그림 5-6] 후행공법과 선행공법(X형) 실험체의 하중-수직변위 곡선
(CGS : 후행공법, AGS : 교차가새형 선행공법)

교차가새형 선행 공법 조립체(띠장 미설치 조건)의 극한하중(100.84kN, 3회 평균)은 후행 공법 조립체의 극한하중(91.93kN, 3회 평균) 보다 약 9.7%(8.91kN) 높았다(<표 5-1> 참조). 교차가새형 선행 공법은 조립체 압축 실험 후 연결부 등에 대해 육안으로 확인결과, [그림 5-7]과 같이 선행안전난간대의 가새재는 좌굴 등 변형이 발생하지 않았으며, 상부난간대도 변형이 발생되지 않았다. 또한, 수직재와 선행안전난간대 연결부는 이탈되거나 변형이 발생되지 않았다. 조립체의 총중량에 대한 분석결과 교차가새형 선행 공법(1.86kN)이 후행 공법(2.36kN) 대비 21.2%(0.5kN) 감소하였다.

<표 5-1> 후행공법과 선행공법(X형)의 극한하중과 총중량 비교

구분		후행공법	선행공법(X형)
극한하중	Test1	88.02kN	101.39kN
	Test2	93.89kN	98.45kN
	Test3	93.89kN	102.69kN
	평균	91.93kN	100.84kN
총중량		2.36kN	1.86kN



[그림 5-7] 선행공법(X형)의 조립체 극한하중 실험후 연결부 상세 사진

5.4 소결

본 연구의 실물 압축시험 결과에 따르면 교차가새형 선행 공법은 후행 공법보다 구조안전성과 경제성이 우수한 것으로 나타났다. 교차가새형 선행 공법(띠장 미설치 조건)은 후행 공법(띠장 설치 조건) 대비 극한하중이 9.7%(8.91kN) 우수한 것으로 분석되었다. 후행 공법과 교차가새형 선행 공법의 시스템비계는 유효좌굴 길이가 동일하나, 교차가새형 선행 공법은 일정 수준의 수직하중 분산과 수평방향의 회전을 제어할 수 있어 극한하중이 증가한 것으로 사료된다. 교차가새형 선행공법은 조립체 압축실험후 연결부 등에 대해 육안확인 결과, 선행안전난간대의 가새재는 좌굴 등 변형이 발생하지 않았고, 제4장의 구조해석 결과에 따라 가새재의 최대응력이 허용응력을 충족하였으며, 가새재의 압축에 대한 안전율이 3.13으로 설계기준을 만족하는 것으로 나타났다. 따라서 현행 설계기준의 세장비 제한기준은 해당 구조물의 사용조건을 고려하여 4.4절과 같이 합리적인 기준 마련이 필요하다. 한편, 교차가새형 선행 공법을 적용한 시스템비계는 중량(작업발판 제외)이 후행공법 대비 21.2%(0.5kN) 감소한 것으로 파악되었다. 이러한 선행 공법을 적용한 비계의 중량 감소는 비계 제작에 소요되는 비용을 경감시킬 수 있어 경제성도 상대적으로 높은 것으로 추정된다.

6. 성능시험을 통한 선행안전난간의 안전인증고시 개정(안) 제시

6.1 연구 필요성

본 시험의 목적은 제4장 및 제5장에서 후행공법과 교차가새형 선행공법을 적용한 시스템비계의 구조검토(선형해석) 및 조립체 실물시험결과 후행 공법 대비 교차가새형 선행공법의 구조성능은 동등하거나 더 우수한 것으로 나타났다. 이를 토대로 교차가새형 선행안전난간대를 적용한 시스템비계의 부재별 성능시험을 통해 현행 “방호장치 안전인증고시(고용노동부 고시 제2020호-33호)” 에서 규정되지 않은 선행안전난간대의 시험 성능기준과 시험방법을 포함한 안전인증고시 개정(안)을 제시하고자 하였다. 개정(안)에는 교차가새형 선행안전난간 뿐만아니라 유럽 등 외국에서 적용하고 있는 상승형 선행안전난간대 등에 대한 성능시험 기준도 포함하였다. 교차가새형 선행안전난간을 제외한 수평형 선행안전난간은 구조적 역할을 거의 하지 않고, 실제 설계시에도 안전난간을 모델링에서 제외하고 있기 때문에 안전난간의 역할에 대한 성능기준을 마련하고자 하였다.

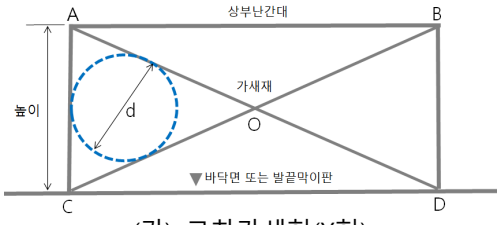
선행안전난간대는 수평으로 설치하는 상부난간대와 교차가새재 또는 중간난간대로 구성되어 있다. 교차가새재는 틀형 비계용 부재인 교차가새와 유사한 X자 형태이다. 이에 본 시험에서는 선행안전난간대의 안전난간과 가새 성능을 확인하기 위해 다음과 같이 총 3가지의 시험을 실시하였으며, 시험방법으로 국내 안전인증기준과 일본공업규격(JIS A 8961) 및 일본 가설공업회 승인기준 등을 참고하여 시험을 실시하였다.

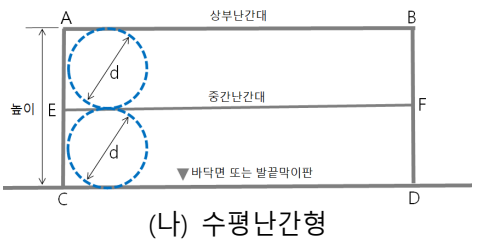
6.2 성능시험 방법

6.2.1 구조 적합성 시험

선행안전난간대의 구조 적합성 평가는 산업안전보건기준에 관한 규칙, 일본공업규격(JIS A 8961)과 일본 가설공업회 승인기준 및 미국 ANSI 규격 등을 고려하여 적용하였으며, 구조 적합성 기준은 <표 6-1>과 같다.

<표 6-1> 선행안전난간대의 구조 적합성 시험 기준

<table>
<tr>
<td> 

(가) 교차가새형(X형)</td>
<td> 

(나) 수평난간형</td>
</tr>
<tr>
<td colspan="2">1. 교차가새형(1종) : △AOB, △COD, △AOC, △BOD의 면적(S)은 0.5m^2 이하이거나, 각 변의 내접원 바깥지름(d)이 60cm 이하이고, 상부난간대의 높이는 90~120cm 이내일 것.
2. 수평난간형(2종) : 상부난간대와 중간난간대 사이간격과 중간난간대와 바닥면 또는 발끝막이판 사이간격은 60cm 이하이고, 상부난간대의 높이는 90~120cm 이내일 것.</td>
</tr>
</table>

선행안전난간대는 상부난간대-교차가새 일체형(1종)과 수직재-난간대 구조(2종)로 구분된다. 선행안전난간대의 경우 삼각형 개구부 또는 사각형 개구부로 작업자가 추락할 위험이 있으므로 최대 공간에 대해 규정하고 있다. 시험기준과 같이 개구부 각 공간의 내접원 바깥지름(D)을 확인하는 방법으로 공간의 안전기준 적합성을 평가하며, 시험을 위해 바깥지름(D)이 60cm인 기준틀을 제작하여 개부구 공간에 기준틀이 통과하는지 여부를 확인하는 방법으로 시험을 하였다.

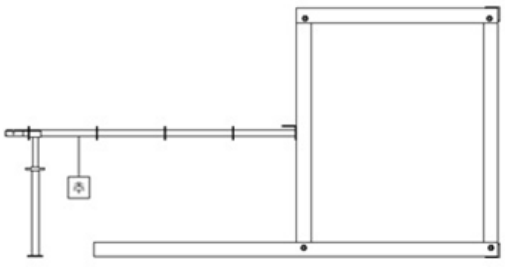
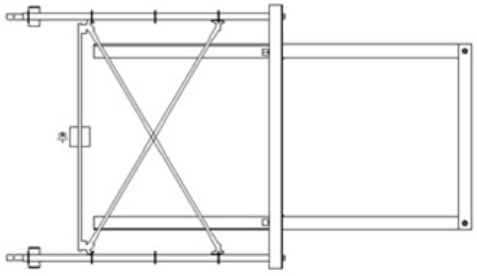
6.2.2 처짐 및 휨시험

선행안전난간대의 안전난간으로서의 성능을 확인하기 위한 시험으로 국내 안전인증기준(고용노동부 고시 제2020-33호), 일본 공업규격(JIS A 8961) 및 일본 가설공업회 승인기준을 참고하여 아래와 같이 2가지의 성능시험방법에 대해 검토후 <표 6-2>와 같이 선정하였다.

첫째, 국내 안전인증기준의 이동식비계 난간틀 시험은 처짐 및 휨시험 전용 시험장치에 시험시료인 난간틀을 가로로 고정한 후 추를 매달아 시험을 진행하며, 이 방법은 바닥에서 시험이 진행되므로 추락의 위험성이 낮아진다. 또한, 시험을 위한 도르레나 크레인과 같은 별도의 설비없이 시험이 가능하다.

둘째, 일본 공업규격(JIS A 8961) 및 일본 가설공업회 승인기준에서 규정하고 있는 선행안전난간대의 처짐 및 휨시험은 비계에 선행안전난간대를 설치한 상태에서 도르래를 이용하여 추를 매달아 처짐량 및 휨강도를 확인한다. 그러나 이런 방법은 시험시 추를 매달 때 시험자의 추락 또는 낙하 위험이 있다. 따라서 본 시험에서는 국내 안전인증기준의 이동식 비계용 난간틀 및 조립식 안전난간의 시험 방법을 참고하여 진행하였다.

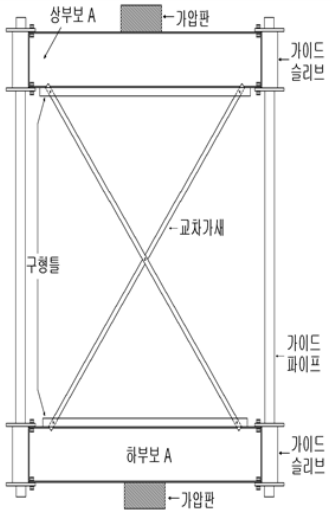
<표 6-2> 선행안전난간대의 처짐 및 휨시험

<table>
<tr><td> 
<측면도></td><td> 
<평면도></td></tr>
<tr><td colspan="2">1. 처짐시험
1) 수직재에 체결된 선행 안전난간을 조립된 상태 그대로 시험장치에 설치하여 상부난간대 중앙부에 하중이 30kgf 및 120kgf 인 추를 매달아 변위측정기로 수직방향 변위량을 측정함.
2. 휨시험
1) 수직재에 체결된 선행 안전난간을 조립된 상태 그대로 시험장치에 설치하여 상부난간대 중앙부에 하중이 160 kgf인 추를 매달아 선행 안전난간의 파괴 유무를 확인함.
2) 수직재에 체결된 선행 안전난간을 조립된 상태 그대로 시험장치에 설치하여 중간난간대 또는 가새재의 중앙부에 하중이 120 kgf인 추를 매달아 선행 안전난간의 파괴 유무를 확인함.</td></tr>
</table>

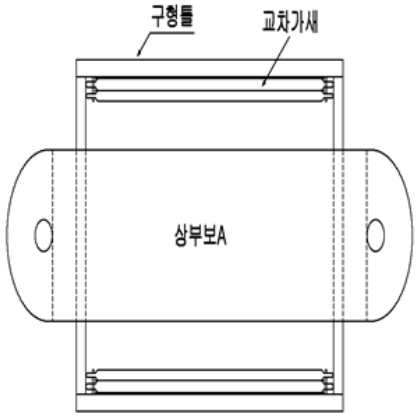
6.2.3. 가새의 압축시험

교차가새형의 선행안전난간대는 안전난간과 가새의 역할을 하고, 상부난간대와 교차가새가 일체로 제작된다. 상부난간대를 제외한 교차가새는 X자 형태로 틀형 비계용 교차가새와 구조가 거의 유사하고, 바깥지름이 21.7㎜로 국내 안전인증 고시(고용노동부 고시 제2020-33호)에서 규정하고 있는 틀형 비계용 교차가새의 바깥지름(21.4㎜ 이상)과 비슷하다. 따라서 본 시험에서는 선행안전난간의 가새로서의 성능을 확인하기 위해 틀형 비계용 교차가새 압축시험 방법(<표 6-3>)을 준용하였다. 선행안전난간대는 상부난간대와 교차가새가 일체로 제작・설치되지만 선행안전난간대의 가새로서의 성능을 확인하기 위해 상부난간대를 해체한 상태로 <표 6-4>와 같이 시험을 실시하였다.

<표 6-3> 틀형 비계용 교차가새 시험기준(고용노동부, 2020)



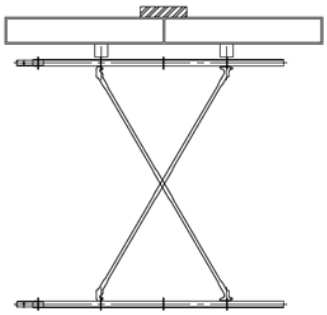
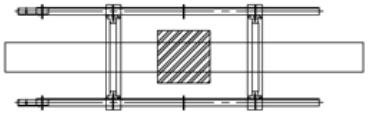
<측면도>



<평면도>

교차가새의 압축시험은 위의 그림과 같이 상부보 A, 하부보 A, 가이드슬리브 및 가이드 파이프와 구형틀을 사용하여 시험기의 상·하 가압판 중심에 상부보 A 및 하부보 A와 구형틀의 중심을 일치시킨 상태에서 교차가새 2개를 한조로 하여 시험기에 부착하고 압축하중을 가하여 하중의 최대값을 측정한다.(이 경우, 교차가새 핀의 이탈방지기능을 작동시킨 상태에서 재하 속도는 분당 8㎜ 이하로 한다.)

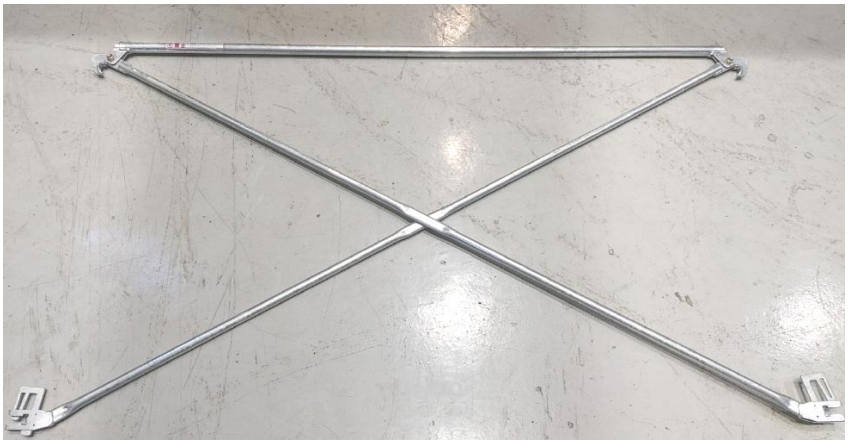
<표 6-4> 선행안전난간대의 압축시험(상부난간대 해체 상태)

 <측면도>	 <평면도>
선행안전난간대의 상부난간대를 해체한 상태로 수직재에 체결하여 시험체를 눕힌 상태로 선행안전난간이 체결된 접합부 4개소를 가력보에 압축하중을 가하여 하중의 최대값을 측정한다.	

6.3 시험체 및 시험장비의 제원

6.3.1 시험체의 제원

본 시험의 목적은 기존 시스템비계의 수평안전난간을 선행안전난간대로 대체하여 적용했을 경우 작업안전성 및 구조안전성을 검증하여 안전인증 고시 개정(안)을 마련하기 위함이다. 따라서 선행안전난간대를 제외하고 시험에 사용되는 보조재는 모두 안전인증을 취득한 시스템비계의 부재를 사용하였고, 성능시험에 사용되는 시험용 시료는 국내 제조업체(2개사)에서 생산한 해외 수출용이며, 길이는 구조적으로 가장 불리한 조건인 1,829mm의 제품([그림 6-1] 참조)을 사용하였다. 보조재는 시스템비계(수직재, 수평재), 작업발판, 비계용 강관, 조절용 받침철물 등을 사용하였다.

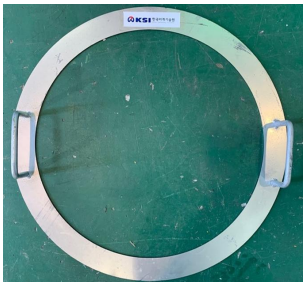
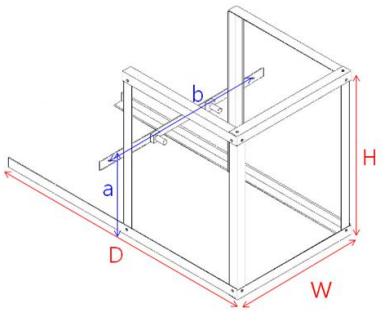


[그림 6-1] 시험시료(교차가새형 선행안전난간대)

6.3.2 시험장비 및 장치의 제원

성능시험에 사용된 장비는 <표 6-5>의 대형 인장압축시험기(인장압축능력 : 200kN)를 사용하였으며, 성능시험장치는 선행안전난간대의 구조 적합성 평가 기준틀(바깥지름 60cm)과 선행안전난간의 처짐 및 휨시험 장치를 사용하였다.

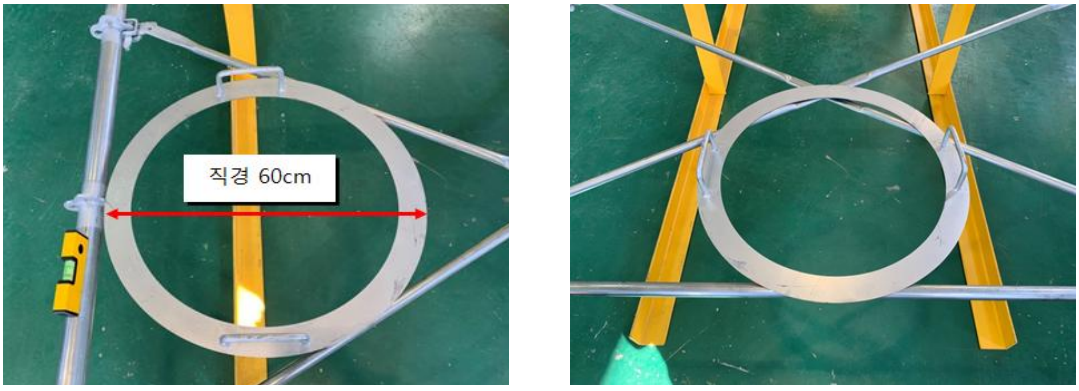
<표 6-5> 시험 장비 및 장치 제원

구분	제원	관련 도면 또는 사진
대형 인장 압축 시험기	· 시험기 크기(W×D×H) : 1,700 ㎜ × 1,000 ㎜ × 4,000 ㎜ · 압축 및 인장 능력 : 최대 200 kN	
구조적합성 평가 기준틀	· 바깥지름(d) : 60 ㎝	
선행안전난간 처짐 및 휨시험 장치	·시험 장치 크기 (W×D×H) : 1,407㎜×2,820㎜×1,710 ㎜ ·선행안전난간 설치 높이×너비 (a×b) : 855㎜ × 1,829 ㎜	

6.4 성능시험 결과

6.4.1 구조 적합성 시험 결과

선행안전난간대의 구조 적합성 평가는 [그림 6-2]와 같이 시스템비계의 수직재에 선행안전난간대를 체결한 상태에서 삼각형의 개구부에 바깥지름 60cm의 구조적합성 평가 기준틀의 통과 여부를 확인하였으며, <표 6-6>과 같이 A제품 및 B제품에 대해 각각 3회 시험결과 모두 기준틀이 통과되지 않아 기준에 적합한 것으로 평가되었다.



(가) 측면 삼각형 개구부 기준틀 통과 시험 (나) 하부 삼각형 개구부 기준틀 통과 시험

[그림 6-2] 선행안전난간대의 구조 적합성 평가

<표 6-6> 선행안전난간대의 구조 적합성 평가

구분	A제품			B제품			비고
	시료1	시료2	시료3	시료1	시료2	시료3	
통과여부	통과불가	통과불가	통과불가	통과불가	통과불가	통과불가	적합

6.4.2 처짐 및 휨시험 결과

선행안전난간대의 수직처짐시험은 시험장치에 시스템비계 수직재의 선행안전난간대를 체결하여 수평으로 눕혀 상부난간대의 중앙에 30kgf 및 120kgf의 추를 매달아 수직처짐량을 측정하였다([그림 6-3]참조). 처짐시험 결과 <표 6-7>과 같이 30kgf에서는 A제품(3회 평균)은 18.31mm의 처짐이 발생하였고, B제품(3회 평균)은 15.71mm의 처짐이 발생되었다. 120kgf의 시험에서는 A제품(3회 평균)이 68.94mm의 처짐이 발생하였고, B제품(3회 평균)은 65.96mm의 처짐이 발생한 것으로 나타났다.

(a) 처짐시험(30kgf의 추 시험)

(b) 처짐시험(120kgf의 추 시험)

[그림 6-3] 선행안전난간대의 처짐시험

<표 6-7> 선행안전난간대의 상부난간대 처짐시험 결과 (단위 : mm)

구분		시료1	시료2	시료3	3회 평균
처짐시험(30kgf)	A제품	21.16	16.90	16.87	18.31
	B제품	16.18	15.70	15.25	15.71
처짐시험(120kgf)	A제품	76.51	67.54	62.76	68.94
	B제품	66.46	65.68	65.73	65.96

선행안전난간대의 휨시험은 [그림 6-4]와 같이 시험장치에 시스템비계 수직재의 선행안전난간대를 체결하여 수평으로 눕혀 상부난간대의 중앙에 160kgf의 추를 매달아 파괴 유무를 확인하였다. 휨시험(각 3회) 결과 <표 6-8>과 같이 A제품과 B제품 모두 소성 변형은 발생되었으나, 파괴되지 않았다.

[그림 6-4] 선행안전난간대의 휨시험(160kgf의 추 시험)

<표 6-8> 선행안전난간대의 상부난간대 파괴시험 결과

구분		시료1	시료2	시료3
휨시험(160kgf)	A제품	파괴되지 않음	파괴되지 않음	파괴되지 않음
	B제품	파괴되지 않음	파괴되지 않음	파괴되지 않음

6.4.3 가새의 압축시험 결과

교차가새형 선행안전난간대는 안전난간과 가새의 역할을 하기 때문에 가새로서의 성능을 평가하기 위한 시험으로 국내 안전인증기준(고용노동부 고시 제2020-33호)의 틀형 비계용 교차가새의 압축시험 방법을 준용하여 [그림 6-5]와 같이 상부난간대를 미부착(제거)한 상태의 교차가새에 대한 압축시험 방법으로 실시하였으며, 그 결과는 <표 6-9>와 같다. 압축시험 결과 A제품(3회 평균)은 6.204 kN이었으나, B제품(3회 평균)은 9.413 kN으로 나타나, B제품이 A제품 대비 34.1%(3,209N) 더 높게 나타났다. 이에 대한 분석을 위해 제원 비교 결과 A제품(ϕ21.7, 1.9 t)과 B제품(ϕ21.7, 1.6 t)의 제원은 유사하나, 가새재 교차부의 압착부 확인결과 압착길이는 A제품이 B제품 보다 90mm 더 길었고, 압착정도는 11.1%(2.4mm) 더 압착된 것으로 파악되어, 압착길이와 압착정도가 극한하중에 영향을 주는 주요 변수로 확인되었다. 결론적으로 압착길이가 짧을수록 압축정도가 낮을수록 가새의 최대압축성능이 증가함을 알 수 있다. 따라서 가새 교차부에서 작업의 간섭이 없는 범위내에서 압착 길이와 압착정도를 최소화(단면2차모멘트 감소 최소화)하는 것이 구조적 성능 감소를 최소화 할 수 있을 것으로 판단된다.

(가) 시험전 (나) 시험후

[그림 6-5] 상부난간대 미부착 상태의 선행안전난간대 압축시험

<표 6-9> 상부난간대 미부착 상태의 선행안전난간대의 압축시험 결과

(단위 : N, mm)

구분		평균	시료1	시료2	시료3	비고(가새의 규격)
가새압축시험 (상부난간대 미부착 상태)	A제품	6,204	6,237	6,161	6,213	압착전 : φ21.7, 1.9 t 압착후 : 9.5mm, 1.9 t (압착길이 220mm)
	B제품	9,413	9,091	9,159	9,990	압착전 : φ21.7, 1.6 t 압착후 : 11.9mm, 1.6 t (압착길이 130mm)

6.4.4 소결

안전난간 선행공법의 주요부재인 선행 안전난간대의 성능시험과 선행 안전난간대(상부난간대 미부착 상태)가 조립된 시스템비계의 구조체 성능시험결과를 정리하면 <표 6-10>과 같다.

<표 6-10> 성능시험 결과표

(단위 : mm, N)

구분			성능기준	시료1	시료2	시료3	평균
구조적합성 평가		A제품	삼각 개구부의 내접원 직경 60cm이하	적합	적합	적합	적합
		B제품		적합	적합	적합	적합
처짐량	30kgf의 추	A제품	처짐량	21.16	16.90	16.87	18.31
		B제품		16.18	15.70	15.25	15.71
	120kgf의 추	A제품	처짐량	76.51	67.54	62.76	68.94
		B제품		66.46	65.68	65.73	65.96
휨시험(160kgf의 추)		A제품	파괴유무	적합	적합	적합	적합
		B제품		적합	적합	적합	적합
가새압축시험 (상부난간대 미부착 상태)		A제품	극한하중 (최대압축성능)	6,237	6,161	6,213	6,204
		B제품		9,091	9,159	9,990	9,413

성능시험 시료로 사용된 선행안전난간대는 국내 제조사에서 제작된 제품으로 구조적으로 가장 불리한 수평길이 1,829mm로 시험을 실시하였으며, 시험에 사용된 보조재는 안전인증을 취득한 부재를 사용하였다. 선행안전난간대의 구조 적합성 평가 결과 교차가새의 삼각형 개구부는 내접원의 지름이 60cm 이하로 기준에 모두 적합하였다. 선행안전난간대의 안전난간에 대한 성능 시험 중 30kgf 추의 처짐시험 결과(3회 평균) A제품 18.31mm, B제품 15.71mm로 나타났으며, 120kgf 추의 처짐시험 결과(3회 평균) A제품 68.94mm, B제품 65.96mm로 나타났다. 휨시험(160kgf의 추) 결과(3회 평균) A제품과 B제품 모두 파괴되지 않아, 안전난간으로서의 성능을 만족하는 것으로 나타났다.

선행안전난간대 가새재만의 수평저항 성능 확인을 위한 가새재 압축시험을 위해 선행안전난대의 상부난간을 제거한 후 보조재에 조립하여 시스템비계를 가로로 눕혀 압축력을 가하여 압축시험을 실시하였다. 상부난간대 미부착상태의 최대압축성능은 A제품 6,204N, B제품 9,413N으로 나타났다. 상부난간대 미부착상태의 교차가새는 틀형 비계용 교차가새와 구조적 역할이 유사하므로 틀형 비계용 교차가새 압축성능 시험기준(7,500N)을 준용하는 것이 타당하다. 이 기준 적용 시 상부난간대 미부착 상태의 교차가새 최대압축성능 기준에 대한 만족 여부 확인결과 A제품은 기준 미달이나, B제품은 기준을 충족하는 것으로 나타났다. 최대압축성능의 차이는 교차가새의 압착된 길이와 압착정도(두께)가 영향을 미친 것으로 분석되었다. 따라서 교차가새는 시공 중 간섭이 되지 않는 범위내에서 압착길이와 압착정도를 최소화하면 구조적 성능 저하를 최소화할 수 있을 것으로 판단된다.

6.5 방호장치 안전인증 고시 개정(안) 제시

해외 선행안전난간에 관한 기준과 국내 안전난간기준 및 성능시험결과를 토대로 방호장치 안전인증 고시 중 선행안전난간에 대한 정의와 성능기준 및 시험방법을 아래와 같이 제시하고자 한다.

6.5.1 용어의 정의

방호장치 안전인증 고시 중 제8장 추락·낙하 및 붕괴 등의 위험방호에 필요한 가설재의 제1절 통칙 제35조(정의) 제8호에 선행안전난간대에 대한 용어의 정의를 다음과 같이 신설한다.

> 카. "선행 설치재"란 비계 설치 작업 시 작업자가 상부 작업발판으로 올라가지 않고 하부 작업발판에서 상부 작업발판 위치의 상부난간대를 미리 설치 할 수 있는 추락방지용 부재를 말하며, 선행안전난간대라고도 한다.

6.5.2 조립식 비계용 부재의 종류 및 분류

조립식 비계용 부재의 종류 및 분류는 <표 6-11>과 같다.

<표 6-11> 조립식 비계용 부재의 종류 및 분류

종류	분류
강관 비계용 부재	강관조인트 벽연결용 철물
틀형 비계용 부재	주틀 교차가새 띠장틀 연결조인트
시스템 비계용 부재	수직재 수평재 가새재 연결조인트 **선행 설치재(신설)**

6.5.3 시스템비계용 부재의 재료

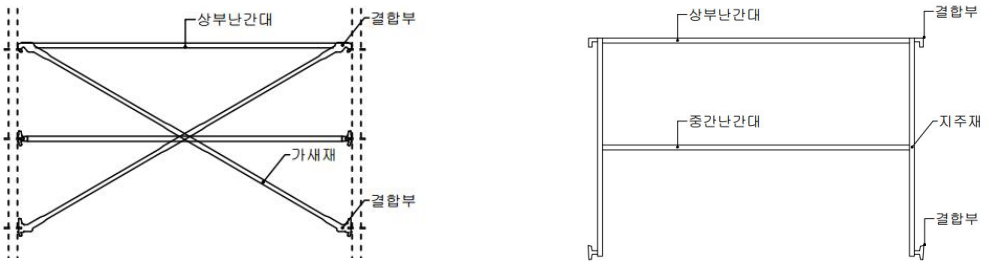
시스템 비계용 부재의 재료는 <표 6-12>에 적합하거나 이와 동등 이상의 기계적 성질을 가진 것을 사용해야 하며, 시스템 비계용 부재의 각 부분은 현저한 손상, 변형 또는 부식이 없는 것이어야 한다.

<표 6-12> 시스템 비계용 부재의 재료

부 재	구성 부분	재 질	
		강재	알루미늄합금재
수직재	(생략)	(생략)	KS D 6759에 규정하는 A 6061S
수평재	(생략)	(생략)	
가새재	(생략)	(생략)	
연결 조인트	(생략)	(생략)	
선행 설치재	수평난간대, 가새재, 지주재, 보강재	KS D 3566에 규정하는 SGT275 또는 KS D 3503에 규정하는 SS275 또는 KS D 3506에 규정하는 SGC295Y 또는 상기와 동등 이상의 성능을 가진 재질	
	결합부, 결합핀	KS D 3501에 규정하는 SPHC 또는 KS D 3503에 규정하는 SS275 또는 KS D 3506에 규정하는 SGC295Y 또는 상기와 동등 이상의 성능을 가진 재질	

6.5.4 시스템비계용 선행 설치재의 구조

시스템비계용 선행 설치재(이하 “선행 설치재”라 한다)는 [그림 6-6]과 같이 상부난간대 및 가새재의 구조를 갖는 1종(교차가새형)과 상부난간대, 중간난간대 및 지주재의 구조를 갖는 2종(수평형)으로 구분한다. 선행 설치재의 종류에 따라 수평난간대, 지주재, 가새재 등의 구성부재들은 용접, 볼트, 너트, 핀 및 쐐기 등으로 일체화된 구조이어야 하며, 다음 각 목에 적합하여야 한다.



(가) 1종(교차가새형) (나) 2종(수평형)

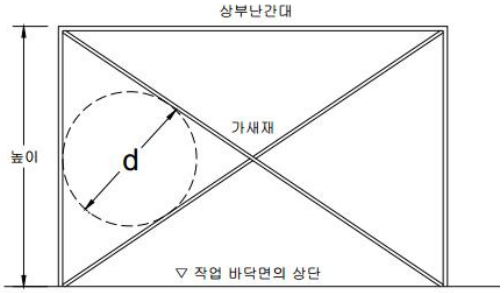
[그림 6-6] 선행 설치재의 구조(참조그림)

가. 선행 설치재의 결합부 및 결합핀은 사용 중 쉽게 손상 또는 탈락하지 않는 구조이어야 한다.

나. 1종의 선행 설치재는 2개의 가새재가 교차하는 구조로 시스템비계용 수직재에 견고히 체결되어야 하며, 사용 중 쉽게 이탈되지 않는 구조이어야 한다.

다. 1종과 2종의 선행 설치재 상부난간대 높이는 작업바닥면으로부터 900 mm 이상이어야 한다.

라. 1종 선행 설치재의 가새재가 교차하여 생기는 공간인 △AOB, △AOC 등 삼각형 개구부는 [그림 6-7]과 같이 바깥지름(d)이 600 mm 원형의 물체가 통과하지 않는 구조이어야 하며, 상부난간대와 바닥면의 중간에 중간난간대를 설치하는 구조이어야 한다.



1종(교차가새형)

[그림 6-7] 1종 선행 설치재의 삼각형 개구부 공간(참조그림)

마. 1종과 2종의 선행 설치재 상부난간대 바깥지름은 27 mm 이상인 강관 또는 외접원의 지름이 이와 동등 이상인 다각형의 형상을 가진 것이어야 한다.

바. 1종 선행 설치재의 가새재 바깥지름은 21.4 mm 이상인 강관 또는 외접원의 지름이 이와 동등 이상인 다각형의 형상을 가진 것이어야 한다.

사. 2종 선행 설치재의 중간난간대 바깥지름은 27 mm 이상인 강관 또는 외접원의 지름이 이와 동등 이상인 다각형의 형상을 가진 것이어야 한다.

6.5.5 시스템비계용 선행 설치재의 시험성능 기준과 방법

가. 시험성능 기준

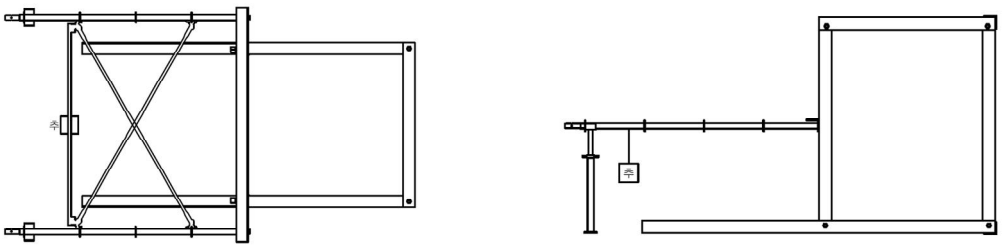
선행 설치재의 시험성능기준은 <표 6-13>과 같다.

<표 6-13> 선행 설치재의 시험 성능기준

항 목		시험성능기준	비고
안전난간의 성능 (처짐 및 휨)	변위량	75 mm이하	1종 및 2종의 선행 설치재의 상부난간대만 해당됨.
	강도	파괴되지 않을 것	
가새 압축성능	상부안난대 제거 상태	7,500 N 이상	1종 선행 설치재만 해당됨.

나. 시험방법

안전난간의 성능시험은 [그림 6-8]과 같이 시스템비계용 수직재 2개와 선행 설치재 1개를 1조로하여 조절형 받침철물 등의 보조재를 이용하여 수평을 유지한 상태로 시험장치에 설치한후 상부난간대 중앙부에 하중이 120㎏f인 추를 매달아 변위측정기로 상부난간대 중앙부의 수직방향 변위량을 구하고, 160㎏f인 추를 매달아 상부난간대의 파괴 유무를 확인하며, 중간난간대 중앙부에 하중이 120㎏f인 추를 매달아 중간난간대의 파괴 유무를 확인한다.

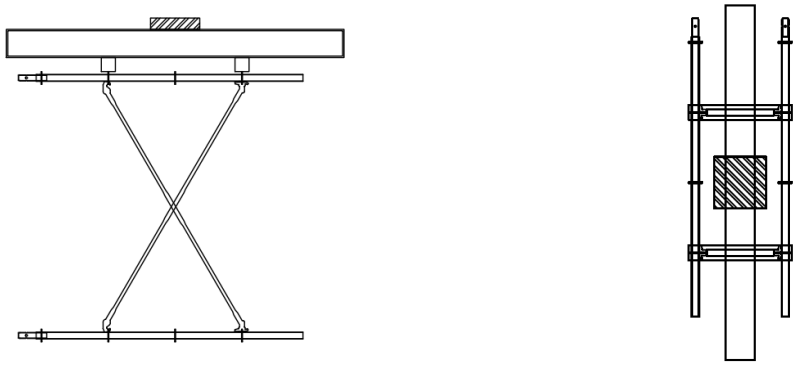


(가) 평면도 (나) 정면도

[그림 6-8] 안전난간의 성능시험(참조그림)

1종 선행 설치재의 가새재 압축 성능시험은 [그림 6-9]와 같이 시스템비계용 수직재 4개, 수평재 4개 및 상부난간대를 제거한 상태의 선행 설치재 2개를 1조로 시스템비계 조립체를 만든 후 이 조립체를 시험기에 눕혀 설치하고 선행 설치재가 결합된

수직재의 접합부 위치에 하중을 가하여 하중의 최대값을 측정한다. (이 경우 재하 속도는 분당 8 ㎜ 이하로 한다)



(가) 정면도 (나) 평면도

[그림 6-9] 상부난간대 제거 상태의 가새 압축 성능시험(참조그림)

다. 시험성능기준과 시험방법의 타당성 검토

선행 설치재의 시험성능기준과 시험방법에 대한 타당성 검토결과는 다음과 같다. 첫째, 안전난간의 처짐에 대한 시험성능기준에서 선행 설치재의 지지부는 조립식 안전난간 지지부의 경계조건(힌지구조 대비 회전강성 구조)과 보 형식(단순보 대비 내민보)이 상이하여 동일 단면 조건에서 선행설치재와 조립식 안전난간의 수직 처짐량(변위량)이 다를 수 있어, 조립식 안전난간의 수직 처짐량 기준(50mm)을 동일하게 적용할 수 없다. 국내 안전인증기준의 이동식비계용 난간틀 처짐시험에 대한 수직처짐량(변위량) 기준은 100mm이고, 일본의 JIS 규격(JIS A 8961:2014)의 선행형 안전난간 처짐시험의 성능기준은 100mm 이하이므로 선행 설치재의 상부난간대에 120kgf의 추를 매다는 시험에서 수직처짐량 기준을 100mm 이내로 설정하더라도 사용성에는 문제가 없을 것으로 판단된다. 따라서 현재 국내에서 생산되고 있는 1종 선행 설치재(교차가새형)의 상부난간대 수직 처짐 시험결과 처짐량의 평균값(67.45mm)에 대한 1.1배(10% 편차 반영)인 74.20mm를 고려하여 허용 수직처짐량(변위량)은 최대 75mm 이하로 설정하였다.

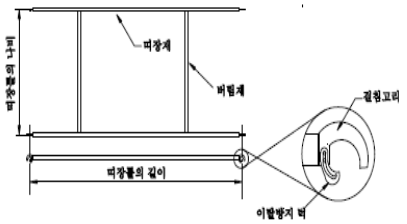
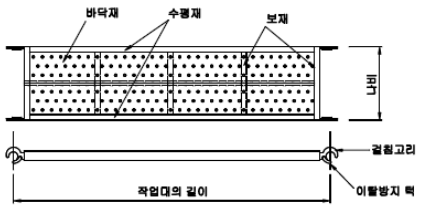
둘째, 안전난간의 휨에 대한 시험성능기준은 현행 조립식 안전난간의 시험방법을 준용하였다. 이에 따라 상부난간대 중앙부에 160kgf의 추를 매달아 안전난간이 파괴되지 않도록 기준을 설정하였다.

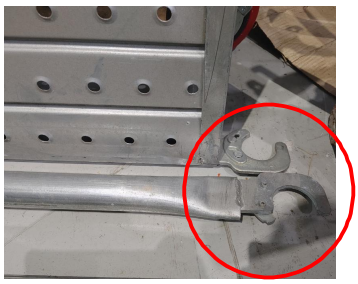
셋째, 틀형 비계용 교차가새와 선행 설치재 중 1종(교차가새형)의 교차가새는 구조적 역할이 유사(<표 6-14>과 <표 6-15> 및 [그림 6-10] 참조)하고, 틀형 비계의 경우는 작업발판 설치 시 띠장틀을 설치하지 않지만 1종(교차가새형) 선행 설치재를 적용한 시스템비계의 경우 작업발판을 설치한후 내측에 띠장을 추가 설치하므로 1종(교차가새형)의 교차가새는 틀형 비계용 교차가새와 동등한 구조 성능(7,500N 이상) 확보시 구조적으로 안전성을 확보할 수 있으므로 가새 압축 성능은 7,500N으로 설정하였다.

<표 6-14> 선행공법의 시스템비계와 틀형 비계의 주요 구조부재 비교

구분	띠장	작업발판 (유공발판)	가새	압축성능
선행공법 (교차가새형) 시스템비계	내측 설치(건물측) 외측 미설치	1~2열 설치	교차가새 (매 수직재 마다 설치)	7,500N
틀형비계	띠장틀 설치 단, 작업발판 설치시 미설치	작업발판 설치 또는 띠장틀+합판설치	교차가새 (매 수직재 마다 설치)	7,500N

<표 6-15> 띠장틀과 작업발판의 시험성능기준 비교

구분	띠장틀		작업발판	
개요도				
성능기준	띠장틀의 휨강도	5,400N 이상 (작업발판 폭 50cm 기준과 동일)	작업대의 휨강도	나비(㎜)×11N이 상
	띠장틀의 수직처짐량	11.0㎜ 이하	작업대의 수직처짐량	L/100 ㎜ 이하(최대 20㎜ 이하) L : 작업대의 길이
	걸침고리의 본체 및 부착부 전단강도	19,700N 이상	걸침고리의 본체 및 부착부 전단강도	19,700N 이상
	걸침고리의 이탈방지 전단강도	3,240N 이상	걸침고리의 이탈방지 전단강도	3,240N 이상



(가) 띠장틀과 작업발판 모습 (나) 띠장틀과 작업발판의 걸침고리 상세 사진

[그림 6-10] 띠장틀과 작업발판의 걸침고리

6.5.6 시스템비계용 부재의 추가 표시

시스템 비계용 부재에는 안전인증의 표시 이외에 부재별 추가 표시를 하여야 하므로 선행 설치재에 대한 추가 표시방법은 아래와 같이 신설이 필요하다.

라. 선행 설치재(신설) 1) 부재 기호: A 2) 종별: 1종은 1, 2종은 2 3) 선행 설치재의 상부난간대 길이: 수평재 길이의 단위(㎜)를 제외한 정수 보기: 상부난간대의 길이가 1,829 ㎜인 1종 선행 설치재의 호칭은 다음과 같다. A1-1829

6.6 방호장치 안전인증고시 개정(안) 타당성 검토

방호장치 안전인증고시 개정(안)에 대한 타당성 검토를 위해 가설기자재 관련 구조 및 안전전문가(9명)를 대상으로 전문가 회의(2회)를 실시하였으며, 주요 내용은 용어의 정의에 대한 타당성, 시험기준과 성능기준에 대한 타당성에 대해 검증하였다. 그 결과를 반영한 방호장치 안전인증고시 개정(안)은 다음과 같다.

제35조(정의) 추락·낙하 및 붕괴 등의 위험방호에 필요한 가설기자재(이하 "가설기자재"이라 한다)에 사용하는 용어의 뜻은 다음 각 호와 같다.

(제1호~제7호까지 생략)

8. 제1호 및 제2호에 따른 부재에 대한 용어의 뜻은 다음 각 목과 같다.

가. "주틀"이란 틀형 동바리 및 비계를 구성하는 부재 중 하나로서 기둥재, 횡가재 및 보강재가 일체화되어 동바리 및 비계에 작용하는 수직하중을 지지하기 위한 부재를 말한다.

(나목~차목까지 생략)

카. "선행 설치재"란 비계 설치 작업 시 작업자가 상부 작업발판으로 올라가지 않고 하부 작업발판에서 상부 작업발판 위치의 상부난간대를 미리 설치 할 수 있는 추락방지용 부재를 말하며, 선행안전난간대라고도 한다.(신설)

【별표 17】 조립식 비계용 부재의 성능기준 및 시험방법(제36조 관련)

<table>
<tr><th>번호</th><th>구 분</th><th>내 용</th></tr>
<tr><td>1</td><td>종류
및 분류</td><td>조립식 비계용 부재의 종류 및 분류는 표1과 같다.

<표 1> 조립식 비계용 부재의 종류 및 분류
<table><tr><th>종류</th><th>분류</th></tr><tr><td>시스템 비계용 부재</td><td>수직재
수평재
가새재
연결조인트
선행 설치재</td></tr></table></td></tr>
<tr><td colspan="3">제2호~제26호까지 생략</td></tr>
<tr><td>27</td><td>시스템 비계용 부재의 재료</td><td>가. 시스템 비계용 부재의 재료는 표 12에 적합하거나 이와 동등 이상의 기계적 성질을 가진 것을 사용해야 한다.</td></tr>
</table>

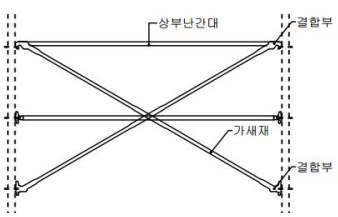
<표 12> 시스템 비계용 부재의 재료

부 재	구성 부분	재 질	
		강재	알루미늄 합금재
수직재	(생략)	(생략)	KSD 6759에 규정하는 A 6061S
수평재	(생략)	(생략)	
가새재	(생략)	(생략)	
연결조인트	(생략)	(생략)	
선행 설치재	수평난간대, 가새재, 지주재, 보강재	KS D 3566에 규정하는 SGT275 또는 KS D 3503에 규정하는 SS275 또는 KS D 3506에규정하는 SGC295Y 또는 상기와 동등 이상의 성능을 가진 재질	
	결합부, 결합핀	KS D 3501에 규정하는 SPHC 또는 KS D 3503에 규정하는 SS275 또는 KS D 3506에 규정하는 SGC295Y 또는 상기와 동등 이상의 성능을 가진 재질	

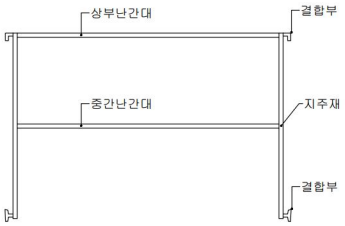
나. 시스템 비계용 부재의 각 부분은 현저한 손상, 변형 또는 부식이 없는 것이어야 한다.

제28~제39호까지 생략

40	시스템 비계용 선행 설치재의 구조	시스템비계용 선행 설치재(이하 "선행 설치재"라 한다)는 그림 19와 같이 상부난간대 및 가새재의 구조를 갖는 1종(교차가새형)과 상부난간대, 중간난간대 및 지주재의 구조를 갖는 2종(수평형)으로 구분한다. 선행 설치재의 종류에 따라 수평난간대, 지주재, 가새재 등의 구성부재들은 용접, 볼트, 너트, 핀 및 쐐기 등으로 일체화된 구조이어야 하며, 다음 각 목에 적합하여야 한다.



가) 1종(교차가새형)



나) 2종(수평형)

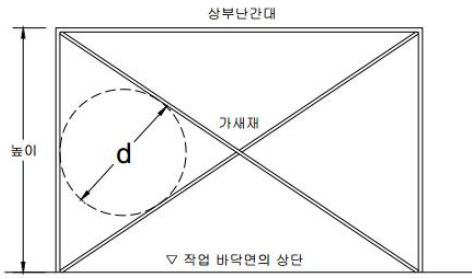
[그림 19] 선행 설치재의 구조(참조그림)

가. 선행 설치재의 결합부 및 결합핀은 사용 중 쉽게 손상 또는 탈락하지 않는 구조이어야 한다.

나. 1종의 선행 설치재는 2개의 가새재가 교차하는 구조로 시스템 비계용 수직재에 견고히 체결되어야 하며, 사용 중 쉽게 이탈되지 않는 구조이어야 한다.

다. 1종과 2종의 선행 설치재 상부난간대 높이는 작업바닥면으로부터 900 mm 이상이어야 한다.

라. 1종 선행 설치재의 가새재가 교차하여 생기는 공간인 △AOB, △AOC 등 삼각형 개구부는 그림 20과 같이 바깥지름(d)이 600 mm 원형의 물체가 통과하지 않는 구조이어야 하며, 상부난간대와 바닥면의 중간에 중간난간대를 설치하는 구조이어야 한다.



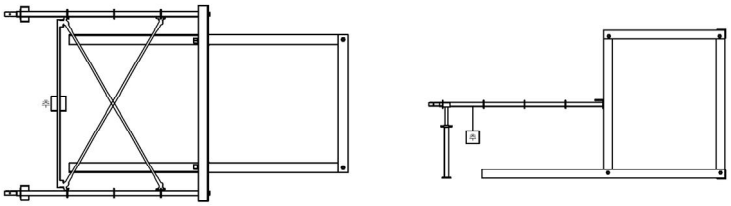
1종(가새형)

[그림 20] 1종 선행 설치재의 삼각형 개구부 공간(참조그림)

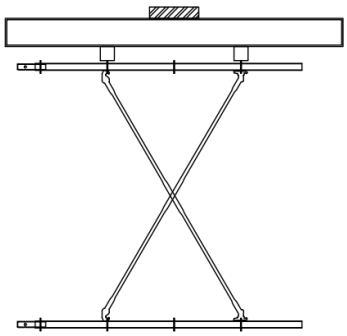
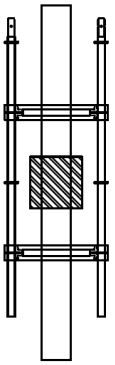
마. 1종과 2종의 선행 설치재 상부난간대 바깥지름은 27 mm 이상인 강관 또는 외접원의 지름이 이와 동등 이상인 다각형의 형상을 가진 것이어야 한다.

바. 1종 선행 설치재의 가새재 바깥지름은 21.4 mm 이상인 강관 또는 외접원의 지름이 이와 동등 이상인 다각형의 형상을 가진 것이어야 한다.

사. 2종 선행 설치재의 중간난간대 바깥지름은 27 mm 이상인 강관 또는 외접원의 지름이 이와 동등 이상인 다각형의 형상을 가진 것이어야 한다.

<table>
<tr><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>41</td><td>시스템 비계용 선행 설치재의 시험성능기준</td><td>선행 설치재의 시험성능기준은 표 13과 같다.
<표 13> 선행 설치재의 시험 성능기준
<table><tr><th colspan="2">항 목</th><th>시험성능기준</th><th>비고</th></tr><tr><td rowspan="2">안전난간의 성능
(처짐 및 휨)</td><td>변위량</td><td>75 mm이하</td><td>1종 및 2종의 선행 설치재의 상부난간대만 해당됨.</td></tr><tr><td>강도</td><td>파괴되지 않을 것</td><td></td></tr><tr><td>가새압축성능</td><td>상부난간대 미부착 상태</td><td>7,500 N 이상</td><td>1종 선행 설치재만 해당됨.</td></tr></table></td></tr>
<tr><td>42</td><td>시스템 비계용 선행 설치재의 시험방법</td><td>가. 안전난간의 성능시험은 그림 21과 같이 시스템비계용 수직재 2개와 선행 설치재 1개를 1조로하여 조절형 받침철물 등의 보조재를 이용하여 수평을 유지한 상태로 시험장치에 설치하고, 상부난간대 중앙부에 하중이 120kgf인 추를 매달아 변위측정기로 상부난간대 중앙부의 수직방향 변위량을 구하고, 160kgf인 추를 매달아 상부난간대와 연결부의 파괴 유무를 확인하며, 중간난간대 중앙부에 하중이 120kgf인 추를 매달아 중간난간대와 연결부의 파괴 유무를 확인한다.
 
가) 평면도 나) 정면도
[그림 21] 안전난간의 성능시험(참조그림)

나. 1종 선행 설치재의 가새재 압축 성능시험은 그림 22와 같이 시스템비계용 수직재 4개, 수평재 4개 및 상부난간대를 제거한 상태의 선행 설치재 2개를 1조로 시스템비계 조립체를 만든 후 이 조립체를 시험기에 눕혀 설치하고 선행 설치재가 결합된 수직재의 접합부 위치에 하중을 가하여 하중의 최대값을 측정한다. (이 경우 재하 속도는 분당 8 ㎜ 이하로 한다)</td></tr>
</table>

		  가) 정면도 나) 평면도 [그림 22] 상부난간대 제거 상태의 가새 압축 성능시험(참조그림)
43	시스템 비계용 부재의 추가 표시	시스템 비계용 부재에는 안전인증의 표시 이외에 다음의 사항을 수직재, 수평재 및 가새재 등 각각의 부재 별로 추가로 표시하여야 한다. 가. 수직재 1) 부재 기호: V 2) 종별: 1종은 1, 2종은 2 3) 본체의 길이: 단위(㎜)를 제외한 정수 보기: 길이가 1,725 ㎜인 1종 수직재의 호칭은 다음과 같다. V1-1725 (나.~다. 생략) 라. 선행 설치재 1) 부재 기호: A 2) 종별: 1종은 1, 2종은 2 3) 선행 설치재의 상부난간대의 길이: 수평재 길이의 단위(㎜)를 제외한 정수 보기: 상부난간대의 길이가 1,829 ㎜인 1종 선행 설치재의 호칭은 다음과 같다. A1-1829

7. 결론 및 향후 연구방향

7.1 결론

본 연구는 국내 건설현장에서 비계 설치・해체 중 지속적으로 발생하고 있는 추락재해예방을 위해 안전난간을 미리 설치하는 선행 공법의 도입을 위해 비계작업 실태 분석, 국내・외 제도 분석, 경제성 분석 등 선행 공법의 도입 타당성을 종합적으로 분석하였다. 이에 대한 결과로 국내 건설현장에서 가장 수용성이 높은 교차가새형 선행 공법과 후행 공법(현행 공법)에 대한 구조해석(선형해석)과 실물실험을 통해 안전성을 검증하였다. 구조안전성 검증후 선행안전난간대의 성능시험을 통해 방호장치 안전인증 고시 개정(안)을 제시하였으며, 그 연구 결과는 다음과 같다.

첫째, 국내 비계 작업 실태 분석 결과에 따르면 비계 설치・해체 작업 시 안전난간을 나중에 설치하는 후행 공법을 적용하고 있어, 추락 위험에 항상 노출되어 있다. 또한, 최근 3년간(2016년~2018년) 건설업 중대재해 분석결과에 따르면 우리나라에서 주로 사용되는 강관비계와 시스템비계에서 99명의 사망자가 발생하였고, 그중 비계 설치・해체 작업에서 27.3%(27명)가 발생되어 선행 공법의 도입이 시급한 것으로 사료된다.

둘째, 국내・외 안전난간 기준에 대한 분석 결과에 따르면 일본과 미국의 안전기준은 교차가새를 중간난간대로 인정하는 등 추락방지에 유효한 구조인 경우 안전난간으로 인정하고 있다. 그러나 국내의 경우 중간난간대의 인정범위에 대한 유권해석이 없어 선진국에서 적용하고 있는 교차가새형 선행안전난간대를 국내에 적용할 수 없는 실정이다. 따라서 안전성, 시공성, 그리고 경제성이 우수한 교차가새형 선행안전난간대를 국내에 도입하기 위해서는 중간난간대에 대한 유권해석(ANSI 규격 등을 반영한 해석) 등의 제도적 개선이 필요하다.

셋째, 선행 공법의 종류에는 순차형, 상승형, 수평틀형, 교차가새형, 수평난간형 선행안전난간 설치공법이 있으며, 시공성, 경제성 및 작업안전성이 높은 공법은 교차가새형 선행 공법인 것으로 분석되었다. 후행 공법과 교차가새형 선행 공법의 경제성 비교 분석 결과 교차가새형 선행 공법이 후행 공법에 비해 총액대비 6.9%, 인건비 대비 5.3%의 비용 절감 효과가 있는 것으로 분석되었다.

넷째, 설계기준에 따른 시스템비계(높이 31m)의 구조해석(선형해석) 결과 교차가새형 선행 공법의 교차가새 단면(φ21.7, 1.6t)이 후행 공법 가새(대각재)의 단면(φ42.7, 2.3t)보다 작아도 부재별 최대응력은 설계기준의 허용응력을 충족하는 것으로 나타났으며, 수직재・띠장 및 장선에 대한 조합응력비는 비슷한 수준으로 분석되었다. 특히, 잭베이스와 수직재의 조합응력비는 교차가새형 선행 공법이 후행 공법에

비해 각각 41.7%와 6.4%가 감소하였다. 이러한 경향성은 교차가새형 선행 공법이 비계 구조물 전체 구간에 설치한 교차가새형(X형) 선행 난간의 가새역할로 하중의 분산 효과가 있으며, 단면 축소와 부재수 감소에 따른 자중 감소(10.6%, 작업발판 포함)의 영향으로 후행 공법에 적용된 가새에 비해 상대적으로 부재의 단면이 작아도 구조적 안전성을 확보할 수 있다고 해석될 수 있다. 그러나 비계는 가새재와 벽이음의 배치 방법과 부재간 연결조건에 따라 최대응력비와 최대변위 등 구조성능에 차이가 발생할 수 있으므로 본 연구에서 모델링한 조건에 한정한 비교 분석결과임에 유의하여야 한다.

다섯째, 시스템비계 조립체(전체 높이 6.575m, 수직방향 3단)의 압축시험 결과에 따르면 교차가새형 선행 공법은 후행 공법보다 구조안전성과 경제성이 우수한 것으로 나타났다. 교차가새형 선행 공법(띠장 미설치 조건)은 후행 공법(띠장 설치 조건) 대비 극한하중이 9.7%(8.91kN) 우수한 것으로 분석되었다. 후행 공법과 교차가새형 선행 공법의 시스템비계는 유효좌굴 길이가 동일하나, 교차가새형 선행 공법은 일정 수준의 수직하중 분산과 수평방향의 회전을 제어할 수 있어 극한하중이 증가한 것으로 사료된다. 한편, 교차가새형 선행 공법을 적용한 시스템비계는 중량(작업발판 제외)이 후행공법 대비 21.2%(0.5kN) 감소한 것으로 파악되었다. 이러한 선행 공법을 적용한 비계의 중량 감소는 비계 제작에 소요되는 비용을 경감시킬 수 있어 경제성도 상대적으로 높은 것으로 추정된다.

여섯째, 후행 공법의 대각재(가새재)의 세장비는 184.4로 세장비 제한 기준(200)에 적합한 것으로 분석되었다. 그러나 교차가새형 선행 공법의 X형 가새재에 대한 세장비는 289.1로 설계기준을 초과하는 것으로 파악되었다. 비록 교차가새형 선행 공법의 X형 가새재가 세장비 기준을 초과하여도 실물실험에서 가새재에는 좌굴 등의 변형이 발생하지 않는 것으로 관찰되었으며, 구조해석결과 가새재의 최대축력(0.836kN/개) 대비 극한하중 시험에 따른 최대압축성능(2.624kN/개)의 비가 3.13으로 설계기준에서 규정하고 있는 압축재의 안전율(3이상)을 충족하는 것으로 평가되었다. 설계기준의 세장비는 강구조 부재 설계기준(하중저항계수설계법)과 건축구조기준 및 해설(2016)과 같이 강제기준이 아닌 권고 기준으로 변하고 있는 추세이다. 따라서 비계의 2차(보조)부재(예: 교차가새)가 세장비 제한기준을 초과할 경우 구조해석에 따른 해당 부재의 최대작용하중 대비 극한하중(최대압축성능)에 대한 비율(안전율)이 설계기준에서 규정하고 있는 안전율 이상이면 구조안전성이 확보될 수 있으므로 『비계 및 안전시설물 설계기준』의 세장비 제한기준은 권고사항으로 개정이 필요하다.

마지막으로 국내 건설현장에 시스템비계의 선행 공법 도입을 위해 선행안전난간대에 대해 구조 적합성 시험, 처짐 및 휨시험, 가새의 압축 성능시험을 통해 방호장치 안전인증 고시(안)을 제시하였고, 전문가 회의 등을 거쳐 방호장치 안전인증고시(안)의 타당성을 검증하였다. 본 연구의 구조 해석 결과는 교차가새형 선행 공법의 구조안전성을 확인하는 기초자료로 활용될 수 있다. 또한, 본 연구의 실물실험 방법은 비계관

련 신기술 개발을 위한 실물실험의 표준모델 개발에 유용하게 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

본 연구의 구조해석결과와 실물실험 결과 및 선행안전난간대의 안전인증고시 개정(안)은 시스템비계 선행 공법의 국내 실용화에 크게 기여할 수 있을 것으로 예상된다. 방호장치 안전인증 고시 개정이 당장 어렵다면 현행 방호장치 안전인증 고시 중『조립식 안전난간』의 성능기준과 시험방법 적용을 제안한다. 또한, 향후 선행 공법의 활성화를 위해 공공공사 현장에 선행공법의 시스템비계 설치를 권장하고, 안전보건공단의 재정지원 사업과 연계하면 건설현장의 수용성이 높을 것으로 예상된다. 이를 통해 선행공법이 국내 건설현장에 적용될 경우 비계 설치·해체 작업 중 추락재해예방과 더불어 건설업의 경쟁력 강화에 크게 기여할 것으로 기대된다.

7.2 향후 연구방향

본 연구의 교차가새형 선행 공법에 대한 3차원 구조해석 및 조립체 실물실험 결과를 일반화하기 위해서는 4가지 후속 연구가 필요하다. 첫째, 시스템비계는 가새와 벽이음의 배치방법과 부재간 연결조건에 따라 부재의 응력과 변위 등의 구조성능이 변할 수 있다. 따라서 건설현장에서 실제 사용하는 다양한 형태의 가새재와 벽이음의 배치와 부재간 연결조건을 고려한 구조성능 비교 분석 연구가 필요하다. 둘째, 구조해석을 위한 모델링 시 선행 난간의 가새재 교차부의 편평한 부분을 원형으로 가정하였다. 이러한 가정에 따른 구조안전성 영향을 과학적으로 분석하는 후속연구가 필요하다. 셋째, 실물실험 시 수직하중만으로 극한하중에 대한 성능을 평가하여 수평하중 등 현장의 상황을 모두 반영하는 데에 한계가 있다. 따라서 실제 건설현장에 설치되는 시스템비계의 상황을 고려하여 수직하중 및 수평하중을 동시에 적용하여 구조안전성을 평가하는 후속연구가 필요하다. 마지막으로『비계 및 안전시설물 설계기준』에는 횡변위(층간변위, Side sway)의 제한기준이 규정되지 않아 비계 설계시 변위에 대한 객관적인 안전성 검토가 어려우므로 횡변위의 제한기준에 관한 후속연구가 필요하다.

참고문헌

고용노동부. (2020). 방호장치 안전인증 고시(고용노동부 고시 제2020-33호). 고용노동부.

고용노동부. (2020). 방호장치 자율안전기준 고시(고용노동부 고시 제2020-34호). 고용노동부.

고용노동부. (2020). 안전인증대상기계등이 아닌 유해위험기계 등의 안전인증 규정(고용노동부 고시 제2020-39호). 고용노동부.

고용노동부. (2020). 산업안전보건법 제83조(안전인증기준)와 제84조(안전인증). 고용노동부.

고용노동부, 한국산업안전보건공단, 부산도시공사. (2019). 건설현장 비계작업안전 실무 안내서. 한국산업안전보건공단. pp. 7, 56-57.

국토교통부. (2020). 비계(KCS 21 60 10). 국토교통부, pp.1-10.

국토교통부. (2019). 비계공사 일반사항(KCS 21 60 05). 국토교통부, pp.1-7.

국토교통부. (2019). 강구조 부재 설계기준(하중저항계수설계법)(KDS 14 31 10). 국토교통부, p.11.

국토교통부. (2019). 강구조 부재 설계기준(허용응력설계법)(KDS 14 30 10). 국토교통부, p.5.

국토교통부. (2020). 비계 및 안전시설물 설계기준(KDS 21 60 00). 국토교통부, pp.1-9.

김경윤, 원정훈, 김상효. (2017). 시스템동바리의 수직재와 수평재 연결부 경계조건에 따른 거동 분석. 한국안전학회지, 32(3), pp. 60-65.

김진호. (2009). 건축 비계공사의 재해사고 사례분석을 통한 재해 저감방안 고찰. 대한건축학회연합논문집, 11(2), pp. 275-284.

김향전, 백신원. (2010). 건설공사 가설구조물의 추락재해 원인분석에 관한 연구. 한국안전학회지, 25(1), pp. 62-64.

노동부. (2009). 안전인증 및 자율안전확인의 신고 절차에 관한 고시(노동부고시 제2009-80호). 노동부.

대한건축학회. (2016). 건축구조기준 및 해설. 서울:기문당, p. 735.

박민석, 장영주, 이지훈, 이수현, 신경재, 김홍진. (2009). 강관비계의 좌굴거동에 관한 실험적 연구. 한국강구조학회 학술발표대회 논문집, p.159.

박종근, 정세균. (2010). 국내 건설현장의 시스템비계 사용 실태조사(Ⅰ). 한국안전학회지, 25(3), pp.107-111.

박종근. (2015). 국내 건설현장의 시스템비계 사용 현황 분석(Ⅱ). 한국안전학회지, 30(2), pp.35-40.

박주동, 문성오, 이현섭, 정성춘, 권용준, 정기효. (2020). 비계작업의 추락재해예방을 위

한 선행 안전난간 공법의 도입 타당성 분석. 한국안전학회지, 35(4), pp.23-31.
박주동, 이현섭, 신우승, 권용준, 박순응, 양승수, 정기효. (2020). 교차가새형 선행 안전난간을 적용한 시스템비계의 구조 성능 평가. 한국안전학회지, 35(5), pp.49-58.
박주동, 정진우, 나구모타카시. (2019.7.). 건설현장 추락 사망사고 예방을 위한 비계의 안전한 설치방법과 가설기자재 품질관리 세미나. 한국비계기술원, 서울.
산업안전보건연구원. (2019). 조립된 가설기자재 안전인증기준 마련 연구. 산업안전보건연구원.
산업안전보건연구원. (2019). 추락재해예방을 위한 비계 안전난간 선행공법의 국내 건설현장 적용에 관한 연구. 산업안전보건연구원.
원정훈, 이형도, 최명기, 박만철. (2018). 시스템동바리 수직재와 수평재 연결부의 휨강도와 회전 강성 평가. 한국안전학회지, 33(4), pp.46-53.
이선우, 장남권, 원정훈, 정성춘. (2020). Bay 수와 가새재 설치가 시스템비계 극한거동에 미치는 영향. 한국안전학회지, 35(3), pp.6-15.
이선우, 정성춘, 김승준, 원정훈. (2020). 가새재 설치여부와 이동경로 폭에 따른 시스템비계의 극한하중에 대한 실험적 연구. 한국강구조학회지, 32(2), pp.127-137.
이정석, 이동락, 김희경, 정병용, 오태근. (2017). 화력발전소 보일러 수퍼히트부 안전발판 개발 연구. 한국안전학회지, 32(3), pp.34-40.
정성춘, 권준혁, 원정훈, 권용준. (2020). 조립된 가설기자재 안전인증제도 도입의 타당성 분석. 한국안전학회지, 35(3), pp.32-42.
정진우, 김용곤. (2019). 건설현장 가설기자재 운영현황 분석 및 개선방안 도출 연구. 한국안전학회지, 34(5), pp.63-71.
최돈흥, 최진우, 고성석. (2011). 쌍줄비계 작업발판 안전기준에 따른 사용 실태조사. 한국안전학회지, 26(3), pp.47-51.
한국강구조학회. (2011). 강구조설계(개정판). 서울:구미서관, p.324.
한국산업안전보건공단. (2011). KOSHA GUIDE C-32-2011(시스템 비계 안전작업 지침). 한국산업안전보건공단.
한국산업안전보건공단. (2018). KOSHA GUIDE C-90-2018(소규모 건축현장 시스템비계 안전보건작업 기술지침). 한국산업안전보건공단.
한국산업안전보건공단. (2018). KOSHA GUIDE C-30-2018(강관비계 설치 및 사용안전 기술지침). 한국산업안전보건공단.
한국산업안전보건공단. (2016-2018). 건설업 중대재해조사보고서. 한국산업안전보건공단.

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

한국산업안전보건공단. (2016-2018). 산업재해통계. 한국산업안전보건공단.

한국산업안전보건공단. (2020). 월간 안전보건+(3월호). 한국산업안전보건공단, p.24.

American National Standards Institute(ANSI). (2002). Standards for Testing and Rating Scaffold Assemblies and Components. ANSI.

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

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

G.P. Cimellaro and M. Domaneschi. (2017). Stability analysis of different types of steel scaffolds. Engineering Structures 152, pp.534-548.

HAKI in United Kingdom. (2020). Advanced Guard Rail (AGR). Accessed May. 7, 2020. https://www.haki.com/product/independent-scaffold.

Japanese Industrial Standard(JIS). (2014). Advanced and secured handrail(JIS A 8961). JIS.

J.L.Peng, T.Yen, C.C.Kuo, S.L.Chan.(2009). Analytical and experimental bearing capacities of system scaffolds. Journal of Zhejiang University SCIENCE, 10(1), pp.82-92.

LAYHER in Germany. (2020). Advance Guardrail of Lightweight Brochure. Accessed May. 7, 2020. http://www.layher.com/Layher%20Lightweight.

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

T. Chandrangsu and K. J. R. Rasmussen. (2011). Investigation of Geometric Imperfections and Joint Stiffness of Support Scaffold Systems. Journal of Constructional Steel Research, 67(4), pp.576-584.

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

Abstract

A Study on Advanced Guardrail Installation method of System Scaffolding to Prevent Falls

Judong Park
Department of Safety and Health, Graduate School
University of Ulsan

In the construction sector, there were 99 fatalities from falls associated with steel tube and system scaffolds over the three years from 2016 to 2018, of which 27.3 percent (27 fatalities) were occurred during installing and dismantling procedure. To erect scaffolding installed for high place work, the work platforms are generally installed first and then the safety guadrails are installed after, and vice versa to dismantle. As a result, workers are exposed to the risk of falling because they erect and dismantle scaffolding without guardrails. To minimize the risk of falling, it is necessary to study a new construction method that can erect or dismantle scaffolding while guardrails are installed (called advanced guardrail system). This study analyzed advanced guardrail system in terms of safety regulation, workability and economic efficiency by investigating the domestic situation on the use of scaffolding, reviewing domestic and foreign standards for guardrails and conducting economic feasibility study. For the introduction of the AGS, the structural performance of the system scaffolding applying the CGS and the AGS was compared and evaluated. The structural analysis of the system scaffold (height: 31 m and width: 27.4 m) with AGS confirmed that structural safety was ensured because the maximum stress of each element of the system scaffolding satisfies the allowable stress of each element. As a result of performance comparison of CGS and AGS for each element, the combined stress ratio of vertical posts in AGS was 6.4% lower than that of CGS. In addition, in the case of ledger and transom, the combined stress ratios of AGS and CGS were almost the same. The compression test of the assembled system scaffolding (three-storied, 1 bay) showed that the AGS had better performance than the CGS by 9.7% (8.91 kN). The cross bracing exceeds the limit on slenderness ratio of codes for structural steel design. But the safety factor for the compressive load of the cross bracing was evaluated as meeting the design criteria by securing 3 or more. In actual experiments, it was confirmed that the buckling of a brace did not

occur even though the entire scaffolding was buckled. Therefore, in the case of temporary structures, it was proposed to revise the standards for limiting on slenderness ratio of secondary or auxiliary elements to recommendations.

Finally, for the introduction of AGS at domestic construction sites, the safety certification notice for protection devices was presented through structural suitability test, deflection and bending test, and compression performance test of bracing. And the validity of the safety certification notice for protection devices was verified through expert meetings.

This study can be used as basic data for the introduction of AGS for installing guardrails in advance at domestic construction sites. The results of this study is expected to greatly contribute to preventing falls in scaffolding installation and dismantlement procedure.

Key word : Advanced guardrail, System scaffolding, Prevention of falls, structural capacity evaluation