Journal of the Korean Society of Safety
Vol. 38, No. 3, pp. 61-68, June 2023
https://doi.org/10.14346/JKOSOS.2023.38.3.61

ISSN 1738-3803 (Print)
ISSN 2383-9953 (Online)
http://www.kosos.or.kr/jkosos

엘리베이터 설치 작업용 시스템 비계의 구조 성능 평가

황종문[1] · 이기열[2†]

Structural Performance Evaluation of System Scaffolding for Elevator Installation Work

Jong Moon Hwang[1] · Gi Yeol Lee[2†]

†Corresponding Author
Gi Yeol Lee
Tel : +82-62-530-2108
E-mail : gylee@jnu.ac.kr

Received : April 4, 2023
Revised : May 12, 2023
Accepted : May 15, 2023

Copyright@2023 by The Korean Society of Safety All right reserved.

Abstract : This study performed a structural performance evaluation of a system scaffolding for elevator installation work developed in previous studies. The structural performance was evaluated via a structural test conducted to apply the working load specified in the design standard. The deflection of the horizontal member and the stress of each member constituting the system scaffolding were measured. Consequently, the structural safety evaluation including structural behavior and required performance was performed using the deflection and stresses measured from the structural test. The structural test and safety evaluation results based on the heavy working load corresponding to the design load indicated that the deflection, which is the performance criterion of the horizontal member, did not exceed the allowable value. Further, each member's stress, which is a safety evaluation indicator, did not exceed the allowable strength for both horizontal and vertical members with bending behavior and fordable bracing with tensile behavior, while also satisfying the required safety factor. In addition, the results confirmed the safety against deformation, partial damage, and destruction owing to excessive and maximum load. Therefore, the system scaffolding developed in this study satisfies both the structural performance and safety required by the design standards; thus, it can be applied to elevator installation work sites.

Key Words : deflection, elevator, scaffolding system, structural performance, safety

1. 서 론

한국승강기안전공단의 통계자료[1)]에 따르면 2022년을 기준으로 국내에 설치된 승강기는 당해년도 설치 46,090대, 설치 누계 944,862대이며, 설치 후 운행중인 승강기는 811,602대이다. 특히, 2011년 이후부터 주택공급 확대 정책에 따라 도시형 생활주택을 포함한 공동주택과 리모델링 공사의 증가로 인하여 연평균 6.4%씩 증가하고 있다. 이와 함께, 승강기안전법[2)]에 따라 주요 장치의 교체 주기에 해당하는 15년 이상 운행되고 있는 승강기가 약 30.3%로서 이를 포함하면 매년 신규로 설치되는 승강기 대수는 더욱 증가할 것으로 예상된다. 이와 같은 승강기 수요 증가로 인하여 설치 작업장에서의 산업재해도 증가하고 있으며[3)], 특히 최근에는 기계실이 없는 승강기 설치를 포함한 승강로 내부 작업자의 추락 사망사고가 계속 발생하여 이에 대한 대책 마련이 시급한 실정이다. 이와 같은 승강로 내부 작업의 안전성 확보를 위하여 본 연구의 저자들은 국내 승강기 설치작업에 적합하고 작업자의 추락사고를 근본적으로 예방할 수 있는 엘리베이터 설치 작업용 시스템 비계를 개발하였다[4)].

새롭게 개발된 엘리베이터 설치 작업용 시스템 비계는 그 형식과 사용에 있어서 기존의 방법들과는 큰 차이가 있으므로 현장 적용에 앞서 처짐과 강도를 포함한 안전성 검증에 대한 선행 연구 조사와 실물실험 등이 반드시 필요하다. 그런데, 엘리베이터 설치와 관련

[1]한국산업안전보건공단 산업안전보건연구원 연구위원 (Occupational Safety and Health Research Institute, Korea Occupational Safety and Health Agency)
[2]전남대학교 조경학과 교수 (Department of Landscape Architecture, Chonnam National University)

된 선행 연구들은 대부분 엘리베이터 운영과 제어를 위한 시스템, 피난 또는 추락의 예방과 안전이었으며, 설치 작업에 대한 연구는 미비한 실정이다[5-7]. 또한, 시스템 비계 역시 토목과 건축분야 건설현장을 중심으로 해당 설계하중에 따른 구조성능과 거동특성, 강도 및 안전성 분석 등을 중심으로 연구가 진행되었다[8-10]. 이에 따라 본 연구에서 새롭게 개발한 엘리베이터 설치 작업용 시스템 비계의 구조 성능 평가가 반드시 필요하다고 할 수 있다.

본 연구는 엘리베이터 설치 작업용 시스템 비계 개발의 후반부로서, 전반부에서 제시한 시스템 비계의 실물 모형을 제작하여 설계하중을 재하하는 구조실험을 실시하였다. 이 실험을 통하여 관련 설계기준에서 규정하는 작업하중 크기에 따른 구조 거동과 안전기준에서 요구하는 성능에 대한 검증 등을 포함한 구조 안정성 평가를 실시하고, 이로부터 새롭게 개발한 엘리베이터 설치 작업용 시스템 비계의 현장 적용 가능성에 대한 검토를 목적으로 한다.

2. 시스템 비계 및 실험

2.1 시스템 비계 제원 및 부재 구성

본 연구에서 개발한 엘리베이터 설치 작업용 시스템 비계의 실물 모형을 Fig. 1에 제시하였으며, 시스템 비계를 구성하는 주요 부재 및 기능은 다음과 같다.

수직재(vertical member)는 출입구 상부와 하부 바닥에 동시에 지지되고, 구성 부재들과의 연결을 통하여 시스템 비계의 구조적 안전과 안정을 동시에 확보한다. 수평재(horizontal member)는 작업 통로 및 공간을 확보할 수 있는 작업발판 및 상부작업대가 거치되고, 상부작업대 자중을 포함한 작업하중을 직접 지지한다. 그리고, 경사재(fordable bracing)는 상부가 2겹인 접이식으로 시스템 비계의 안정적인 구조계를 완성하고 수평재 처짐을 제어한다. 이와 함께 출입구 맞은편에 설치되어 시스템 비계의 양단 지지를 위한 지점을 형성하여 안전성과 사용성을 강화시키는 벽이음재(wall joint)를 포함한다. 시스템 비계를 구성하는 주요 부재의 제원과 재료의 종류 및 강도를 Table 1에 정리하였다.

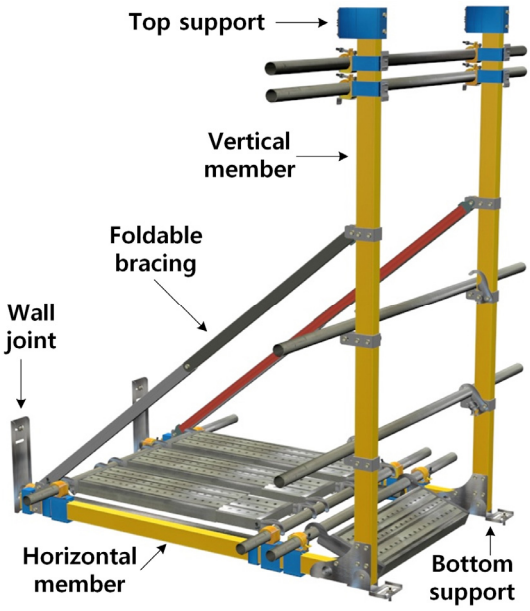

Fig. 1. System scaffolding for elevator installation work.

Table 1. Specification of the elevator system scaffolding members

Member	Geometry			Material Properties	
	Type	section (mm)	Length (mm)	Type	Yield stress (MPa)
Vertical	Square Pipe	45×75×2	2,400	Steel (SRT275)	275
Horizontal			2,500		
Foldable Bracing	Bar	upper: 60×6 (double) lower: 60×20		Aluminium (A6063S T6)	145

2.2 하중

엘리베이터 설치 작업용 시스템 비계의 구조성능 평가를 위해서는 관련 국가건설기준인 KDS 21 60 00(비계 및 안전시설물 설계기준)[11]에서 규정하는 설계하중 중 연직하중에 해당하는 작업하중과 Fig. 2에 보인 것과 같은 엘리베이터 설치 작업을 위해 시스템 비계에 추가로 설치되는 상부작업대의 자중에 해당하는 고정하중을 설계하중으로 고려해야 한다. 그런데, 작업하중은 작업 규모에 따라 통로의 역할을 하는 비계와 가벼운 공구만을 필요로 하는 경작업(light work)과 공사용

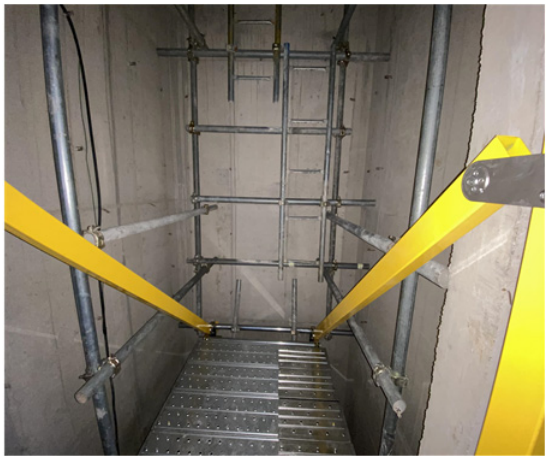

Fig. 2. Top work platform of system scaffolding.

Table 2. Design load

Type		Uniform load (kN/m^2)	Concentrated load (kN)
Working Load (KDS 21 60 00)	Light work	1.25	2.7
	Heavy work	2.5	5.4
Dead Load (Top work platform)		1.85	4.0

자재의 적재를 필요로 하는 중작업(heavy work) 및 돌붙임 공사 등과 같이 자재가 무거운 작업으로 구분된다. 그리고, 상부작업대 (top work platform)는 엘리베이터 제조사별 형식과 규격 및 설치조건에 따라 설치 전문업체별로 차이가 있다[12].

한편, 실제 엘리베이터 설치 작업에 사용되는 공구와 공사용 자재들의 대부분은 경량에 해당하므로 본 연구에서는 Table 2에 제시한 바와 같이 경작업과 중작업에 해당하는 하중을 작업하중(working load)으로 선정하였으며, 시스템 비계 개발 조건에 부합하고 국내 설치현장에서 사용되는 형식 중 가장 무거운 상부작업대의 무게를 고정하중(dead load)으로 선정하였다.

그런데, 이들 하중은 작업발판의 면적 및 수평재 길이에 대한 분포하중(uniform load)으로 규정되어 있으므로, 본 연구에서는 시스템 비계의 구조 안전성 평가를 위한 실험이 효율적으로 수행될 수 있도록 수평재에 설치되는 작업발판의 면적 1.2×1.8 m를 고려한 집중하중으로 환산하여 중앙에 재하하였다. 한편, KDS 21 60 00에서 규정하고 있는 설계하중에서 실외작업 시 풍하중에 의한 영향을 반영하는 수평하중에 대해서는 대부분의 엘리베이터 설치 작업이 실내에서 진행되므로 본 연구에서는 제외하였다.

2.3 실험

엘리베이터 설치 작업용 시스템 비계의 구조 성능 평가를 위한 실험은 Fig. 3에 보인 것처럼 현장의 작업환경과 동일한 조건이 될 수 있도록 승강기 출입구를 모사한 강재 프레임과 벽이음재가 설치될 수 있는 철근콘크리트 벽체를 별도로 제작하고, 이들을 활용하여 구조실험용 프레임에 시스템 비계를 설치한 후, 100 kN 용량의 가력기(actuator)를 이용하여 수평재에 설치된 작업발판의 중앙에 집중하중을 재하하였다. 그리고, 하중계(load cell), 변위계(LVDT) 및 변형률게이지(strain gage)와 자동 데이터수집장치(data acquisition system)를 이용하여 작용 하중, 수평재의 처짐 및 부재별 변형률을 각각 자동으로 측정하였다. 하중 재하는 0.1 mm/s의 변위제어방식으로 가력하였으며, 실험 전 초기값 보정을 위해 1 kN의 사전하중(pre-loading)을 재하한 후 0점

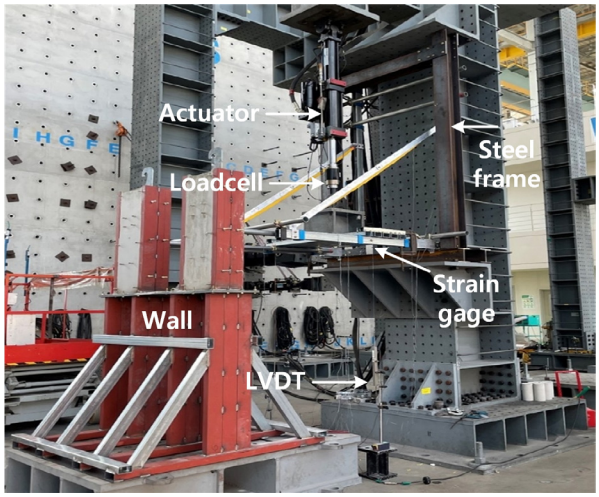

Fig. 3. Test setup apparatus.

조정을 실시하고 각 작업하중 단계를 포함한 최대하중까지 연속으로 재하하였다.

3. 구조 성능 평가

3.1 수평재 처짐

상부작업대 자중을 포함한 작업하중 재하에 따른 엘리베이터 설치 작업용 시스템 비계의 수평재 중앙에서 발생하는 최대 처짐을 Fig. 4에 정리하였다. 이 그림을 살펴보면, 시스템 비계에 경작업 수준의 설치작업에 해당하는 하중인 6.7 kN이 작용할 때 수평재 좌우측 중앙에서 각각 4.46 mm와 7.54 mm의 처짐이 발생하였고, 중작업 수준에 해당하는 하중인 9.4 kN이 작용할때는 각각 6.42 mm와 10.29 mm의 처짐이 발생하였다.

한편 고용노동부에서 개정 고시한 방호장치 자율안전기준[13]에 의하면 엘리베이터 승강로용 브래킷의 수직 처짐에 대한 성능 기준을 처짐이 발생하는 수평재 길이의 1/180 이내로 규정하고 있는데, 이 기준에 따른 본 연구에서 개발한 엘리베이터 설치 작업용 시스템 비계의 수평재에서 허용되는 최대 처짐은 약 13.89 mm이다. 이 값을 본 연구의 실험에서 측정된 수평재 평균 처짐과 비교하면, 상부작업대 자중을 포함한 중작업 하중 조건에서 허용 처짐 이내로 발생하고 있음을 확인할 수 있다. 이 결과는 상부작업대 자중을 포함하여 KDS 21 64 00에서 규정하는 작업하중에 대해서 충분한 안전성을 확보하고 있음을 의미한다.

이와 함께, 본 연구에서는 설치작업 중 발생할 수 있는 초과하중의 영향을 확인하기 위하여 중작업 하중의 2배 이상을 초과하중으로 간주하고 최대 20 kN까지 하중을 재하하였다.

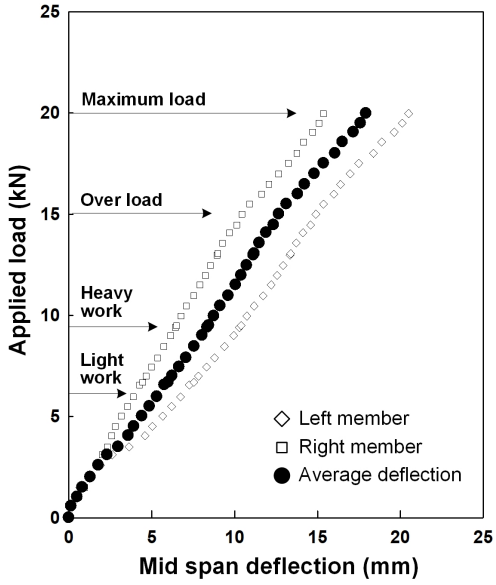

Fig. 4. Midspan deflection of horizontal member.

그런데, 방호장지 자율안전기준에 따르면 실험 최대하중은 27 kN이 되어야 하지만, 이 크기는 작업발판이 설치되는 바닥면 최대면적에 해당하는 수평재 길이 2.5 m에 대한 조건으로서, 본 실험에서는 작업발판을 수평재의 1.8 m 구간에만 설치하였으므로 약 28%의 면적 감소를 반영하여 실험 최대하중을 20 kN으로 산정하였다. 초과하중과 최대하중의 재하에 따른 결과는 Fig. 4에 보인 바와 같이 중작업 2배에 해당하는 14.8 kN에서도 수평재의 평균처짐은 12.67 mm로서 허용처짐보다 작게 발생하였다. 그러나, 중작업 하중의 3배에 해당하는 본 실험의 최대하중인 20 kN에서는 허용처짐을 초과하는 것으로 나타났다.

3.2 수평재 응력

작업하중에 따른 처짐과 함께 하중 작용에 따라 수평재에서 발생하는 응력도 시스템 비계의 구조성능 평가에 중요한 요소라고 할 수 있다. 이에 본 연구에서는 수평재 중앙의 상면과 하면에 각각 변형률게이지를 부착하여 하중 재하에 따른 변형률을 측정하고, 이 값에 강재의 탄성계수 2.0×10^5 N/mm^{2}을 곱하여 응력으로 환산한 결과를 Fig. 5에 정리하였다. 이 그림을 살펴보면, 각 하중 단계에 따라 발생하는 수평재의 상면과 하면의 응력이 압축과 인장으로 명확하게 구분되는 휨거동을 하고 있으며, 특히 각 하중 단계마다 발생하는 압축과 인장응력의 크기가 거의 동일하므로 수평재의 휨거동이 안정적임을 확인할 수 있다.

그리고, 작업하중 단계에 따른 발생 응력은 상부

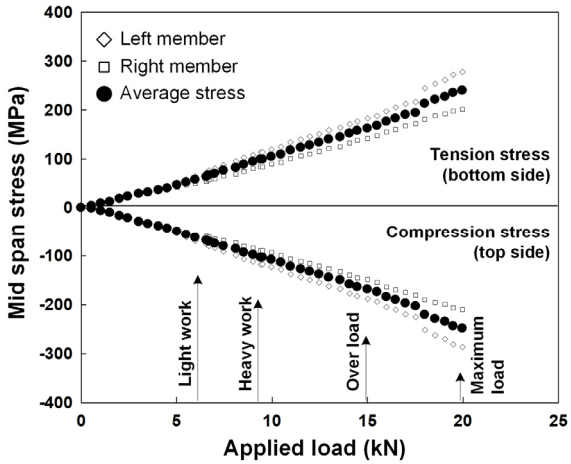

Fig. 5. Stresses of horizontal member.

작업대를 포함한 경작업 하중 단계에서 상면 압축응력 약 70 MPa, 하면 인장응력 약 67 MPa이 발생하였으며, 수평재의 상하면에서 발생하는 평균응력을 기준으로 하면 항복강도의 약 25%이다. 또한, 중작업 하중단계에서는 상면과 하면에서 각각 압축응력 103 MPa과 인장응력 99 MPa이 발생하였으며, 평균응력을 기준으로 항복강도의 약 40%로서 수평재는 중작업 하중단계까지 안전성을 충분히 확보하고 있음을 확인할 수 있다.

한편, 수평재에 사용된 강재의 항복강도 f_y는 Table 1에 정리한 것과 같이 275 MPa이고, 휨에 대한 허용응력은 KDS 14 30 10(강구조 부재 설계기준(허용응력설계법))[14]에서 총단면적에 대한 검토 시 규정하는 $0.6f_y$를 적용하면 165 MPa이다. 이 값을 본 연구의 실험에서 측정된 수평재 발생 응력과 비교하면 상부작업대 자중을 포함한 중작업 하중단계까지 강재의 허용응력 이내로 발생함을 확인할 수 있다. 따라서, 이 결과들을 종합하면 상부작업대 무게를 포함하여 KDS 21 60 00에서 규정하는 작업하중에 대해서 수평재가 충분한 안전성을 확보하고 있음을 의미한다.

이와 함께, 처짐과 마찬가지로 설치작업 중 발생할 수 있는 초과하중의 영향을 확인하기 위하여 중작업 하중의 2배 이상 20 kN까지 최대하중을 재하하였다. 이 결과 Fig. 5에 보인 바와 같이 중작업 2배에 해당하는 14.8 kN에서 수평재에 발생하는 응력은 압축 168 MPa, 인장 162 MPa로서 허용응력에는 도달하였으나, 항복강도를 기준으로 하면 60% 수준으로서 중작업 하중의 2배에 해당하는 초과하중에 대해서도 강도 안전성을 확보하고 있음을 확인할 수 있다. 그러나, 중작업 하중의 3배에 해당하는 본 실험의 최대하중 20 kN에서는 항복강도를 초과하는 것으로 나타났다.

3.3 수직재 응력

엘리베이터 설치 작업용 시스템 비계에서 상부작업대가 설치되고, 작업하중을 직접 지지하는 수평재와 함께 수직재의 역할도 상당히 중요하다고 할 수 있다. 수직재는 상부벽과의 마찰에 의해 지지되는 상부와 앵커볼트에 의해 고정 지지되는 하부 지점을 통하여 승강로에 설치되는 시스템 비계 구조의 안전성 확보와 함께 경사재를 통하여 수평재로부터 전달되는 하중을 저항하는 역할을 수행한다. 이에 본 연구에서는 수평재와 동일하게 수직재 중앙부의 전면과 후면에 각각 변형률게이지를 부착하여 변형률을 측정하고 응력으로 환산하였으며 그 결과를 Fig. 6에 정리하였다. 이 그림을 살펴보면, 각 하중단계에 따라 발생하는 수직재 전면과 후면의 응력이 수평재와 마찬가지로 압축과 인장으로 명확하게 구분되는 휨거동을 하고 있으며, 발생 응력의 크기 또한 큰 차이가 발생하지 않으므로 수직재의 거동도 안정적임을 확인할 수 있다.

그리고, 작업하중 단계에 따른 발생 응력은 상부작업대를 포함한 경작업 하중 단계에서 전면 인장응력 약 16 MPa, 후면 압축응력 약 18 MPa이 발생하였고, 중작업 하중 단계에서는 전면과 후면 각각 인장응력 22 MPa과 압축응력 26 MPa이 발생하였다. 이와 같이 수직재에 발생하는 응력은 수평재와 동일하게 중작업 하중 단계까지 허용응력 이내로 발생함을 확인할 수 있다. 또한, 발생 응력은 항복강도를 기준으로 경작업 하중단계에서 약 6.2%, 중작업 하중단계에서 약 8.7%로서 수직재 역시 중작업 하중단계까지 충분한 강도 안전성을 확보하고 있다고 할 수 있다.

그리고, 수평재와 마찬가지로 설치작업 중 발생할 수 있는 초과하중의 영향을 확인하기 위하여 중작업 하중의 약 2배 이상 최대 20 kN까지 하중을 재하하였다. 이 결과 Fig. 6에 보인 바와 같이 중작업 2배에 해당하는 14.8 kN에서 수직재에 발생하는 응력은 압축 42 MPa, 인장 36 MPa이 발생하였고, 중작업 하중의 3배에 해당하는 본 실험의 최대하중인 20 kN에서도 압축 60 MPa, 인장 49 MPa이 발생하였다. 이들 응력의 평균값을 기준으로 중작업 하중의 3배에 해당하는 최대하중에서도 발생 응력은 항복강도의 20%이며, 허용응력을 초과하지 않았으므로 충분한 강도 안전성을 확보하는 것으로 나타났다.

3.4 경사재 응력

엘리베이터 설치 작업용 시스템 비계를 구성하는 수평재와 수직재의 연결을 통한 작업하중의 전달과 구조계의 안정성을 확보하기 위해서는 경사재가 반드시 필요하다고 할 수 있다. 특히, 경사재는 휨거동을 하는 수직 및 수평재와 다르게 트러스 부재처럼 축력이 발생하게 되므로, 이에 따른 안전성 검토가 필요하다고 할 수 있다. 따라서, 본 연구에서는 이동 및 보관 편의를 위해 접이식으로 구성된 경사재 상부와 하부의 중앙 양면에 각각 변형률게이지를 부착하여 변형률을 측정하고, 다른 부재와 마찬가지로 알루미늄의 탄성계수 0.72×10^5 N/mm^{2}을 곱하여 응력으로 환산하였으며 그 결과를 Fig. 7에 정리하였다.

이 그림을 살펴보면, 각 하중단계에 따라 경사재를 구성하는 상부와 하부에서 모두 인장만 발생하는 축부재 거동을 하고 있으며, 발생 응력의 크기 또한 상부와 하부에서 큰 차이가 발생하지 않으므로 수평재를 직접 지지하는 하부로부터 상부로 축력의 전달이 양호하다고 할 수 있다. 따라서, 경사재의 거동 역시 수직 및

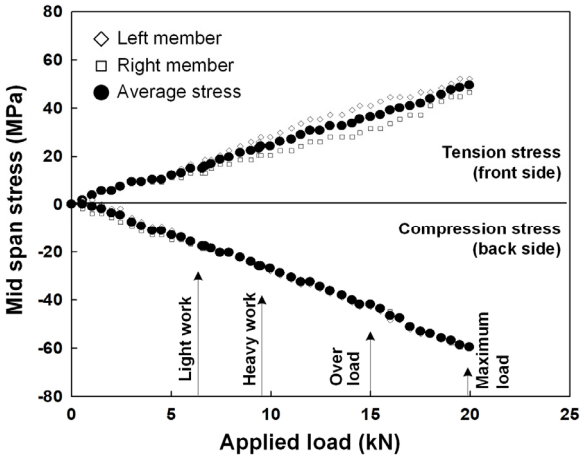

Fig. 6. Stresses of vertical member.

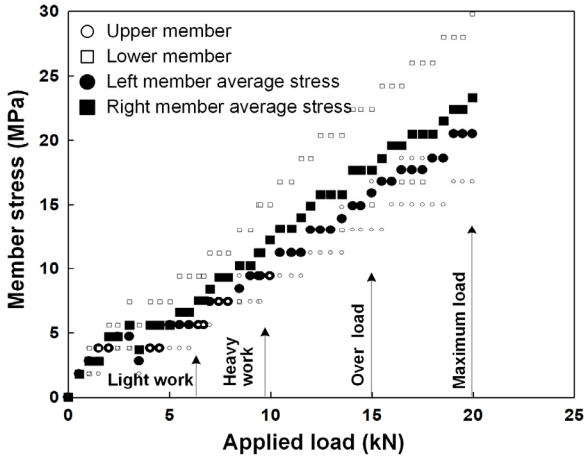

Fig. 7. Stresses of fordable bracing member.

수평재와 마찬가지로 안정적임을 확인할 수 있다. 그리고, 작업하중 단계에 따른 발생 인장응력은 상부작업대를 포함한 경작업 하중 단계에서 상부 약 6 MPa, 하부 약 7 MPa이 발생하였고, 중작업 하중 단계에서는 상부와 하부에서 각각 9 MPa과 11 MPa이 발생하였다. 따라서, 경사재에 발생하는 축응력 또한 수평재 및 수직재와 동일하게 중작업 하중 단계까지 항복강도의 약 6.9%로서 충분한 안전성을 확보하고 있다고 할 수 있다.

또한, 수평재 및 수직재와 마찬가지로 설치작업 중 발생할 수 있는 초과하중의 영향을 확인한 결과, Fig. 7에 보인 바와 같이 중작업 2배에 해당하는 14.8 kN에서 경사재에 발생하는 인장응력은 상부 16 MPa과 하부 18 MPa, 중작업 하중의 3배에 해당하는 본 실험의 최대하중인 20 kN에서도 상부와 하부에서 항복강도의 약 15.2% 수준인 평균 22 MPa이 발생하여 강도 안전성을 충분히 확보하는 것으로 나타났다.

3.5 구조 안전성 평가

엘리베이터 설치 작업을 위해서 기존에는 승강로 내부에 강관비계를 경사지게 조립한 후 그 위로 상부작업대를 설치함으로서, 구조적으로 불안전한 상태에서 엘리베이터 설치 작업을 수행함에 따라 작업자 추락 또는 비계의 붕괴 등 사고재해가 발생하고 있는 실정이다. 이에 본 연구에서는 승강로 내부에서 진행되는 엘리베이터 설치 작업의 안전을 확보할 수 있는 전용 시스템 비계를 개발하고 실물모형을 제작한 후, 이 시스템 비계의 구조성능 및 안전성 평가를 위한 실험을 실시하였다. 관련 기준에서 규정하고 있는 경작업 및 중작업에 해당하는 작업하중뿐만 아니라 중작업 하중의 2배까지를 초과하중으로 간주하여 하중을 재하하고, 그에 따라 발생하는 수평재의 처짐과 주부재인 수직재, 수평재 및 경사재의 응력에 대한 평균값을 기준으로 허용처짐 및 허용응력과 비교를 실시하여 Table 3에 정리하였다.

이 결과에 따르면 수평재 처짐의 경우, 상부작업대의 자중을 포함하여 경작업과 중작업 및 초과하중 단계에서 허용처짐(처짐한계, L/180)인 13.9 mm 이내로 발생하였으며, 각 하중 단계별로 허용처짐의 43.2~91.2%까지로서 처짐에 대한 안전을 확보하고 있음을 확인할 수 있다. 그리고 부재에 발생하는 응력의 경우, 휨응력이 발생하는 강재로 제작된 수직재와 수평재는 모든 하중 단계에서 설계기준에 따른 휨부재 허용응력($0.6f_y$)인 165 MPa 이내로 발생하였으며, 각 하중 단계별로 수평재는 허용응력의 41.5~100%, 수직재는 허용응력의 10.3~23.6%로서 강도에 대한 안전을 확보하고 있음을 확인할 수 있다. 또한, 축(인장)응력이 발생하는 알루미늄 재질의 경사재도 모든 하중 단계에서 설계기준에 따른 핀접합부재 허용응력($0.45f_y$)인 65.3 MPa 이내로 발생하였으며, 각 하중 단계별로 허용응력의 10~26.1%로서 수평재 및 수직재와 마찬가지로 안전을 충분히 확보하고 있음을 확인할 수 있다.

이와 함께 최대 설계하중인 중작업 하중의 3배에 해당하는 20 kN의 초과하중에서 시스템 비계의 형상 변화를 포함한 이상 유무 및 파괴 여부를 관찰하였다. 20 kN의 하중이 재하된 후를 보여주는 Fig. 8을 살펴보면 시스템 비계는 초기 상태를 그대로 유지하고 있으며, 항복강도를 초과한 수평재 및 수직재를 포함한 각 부재에서 이상이 없을뿐만 아니라 부분적인 파손을 포함한 파괴도 발생하지 않음을 확인할 수 있다.

이상과 같이 설계기준에서 규정하는 작업하중과 본 연구에서 자체적으로 설정한 초과하중에 대해서 수평재의 처짐은 허용처짐 이내로 발생하였고, 각 부재에서 발생하는 응력은 모두 항복강도를 초과하지 않음을 확인하였다. 특히, 부재별로 경작업 수준에서 허용응력의 10~42%, 중작업 수준에서는 허용응력의 15~61%, 그리고, 중작업의 2배에 해당하는 초과하중에서도 허용응력의 24~100%까지 발생함을 확인하였다. 따라서 성능시험 결과와 그에 따른 구조 안전성 평가를 종합하면 본 연구에서 개발한 엘리베이터 설치 작업용 시스템 비계는 구조 안전성을 충분히 확보하고 있음을 확인하였으며, 실제 엘리베이터 설치 현장에 적용하였을 때 작업자의 안전을 확보할 수 있을 것으로 판단된다.

Table 3. Structural safety of system scaffolding members

Type	Member	Allowable stress (1)	Load Level					
			Light work		Heavy work		Over load	
			Test (2)	(2)/(1)	Test (2)	(2)/(1)	Test (2)	(2)/(1)
Deflection (mm)	Horizontal	13.9 (L/180)	6.0	43.2%	8.4	60.5%	12.7	91.2%
Stress (MPa)	Vertical	165.0 ($0.6f_y$)	17.0	10.3%	24.0	14.5%	39.0	23.6%
	Horizontal		68.5	41.5%	101.0	61.2%	165.0	100%
	Fordable Bracing	65.3 ($0.45f_y$)	6.5	10.0%	10.0	15.3%	17.0	26.1%

Fig. 8. Shape of system scaffolding after maximum load.

4. 결 론

본 연구는 선행 논문에서 새롭게 개발한 엘리베이터 설치 작업용 시스템 비계의 실물모형을 제작하고 설계기준에서 규정하는 작업하중을 재하하여 처짐과 각 부재의 변형률을 측정하기 위한 구조실험을 실시하였다. 그리고, 실험결과로부터 측정된 수평재의 처짐과 각 부재의 응력을 기준으로 시스템 비계의 구조 성능 및 안전성 평가를 통하여 다음과 같은 결론을 도출하였다.

1) 엘리베이터 설치 작업용 시스템 비계는 설계기준에서 규정하는 중작업 하중까지 방호장치 자율안전기준의 처짐에 대한 성능기준을 만족할뿐만 아니라 허용처짐을 기준으로 60% 이상의 안전 여유를 확보하고 있음을 확인하였다.

2) 엘리베이터 설치 작업 시 고려하는 설계 작업하중과 현장에서 함께 설치되는 상부작업대의 자중을 함께 고려한 하중을 기준으로 경작업과 중작업 하중단계에서 시스템 비계의 각 부재에서 발생하는 응력은 모두 항복강도 이내로 발생함을 확인하였다.

3) 엘리베이터 설치 작업용 시스템 비계를 구성하는 부재들은 중작업 하중까지 설계기준에서 규정하고 있는 허용응력을 기준으로 수평재는 허용응력의 61.2%, 수직재는 14.5%, 경사재는 15.3% 수준으로 응력이 발생하여 강도 안전성을 충분히 확보하고 있음을 확인하였다.

4) 엘리베이터 설치작업 중 발생할 수 있는 초과하중조건에서도 처짐과 부재별 응력 모두 허용값 이내로 발생하였으며, 최대하중에서 시스템 비계의 변형이나 부분적 파손 또는 구조계의 변화가 발생하지 않음을 확인하였다.

5) 본 연구에서 개발한 엘리베이터 설치 작업용 시스템 비계는 관련 기준인 국토교통부 KDS 21 60 00(비계 및 안전시설물 설계기준)과 고용노동부 방호장치 자율안전기준의 해당 규정을 적용한 성능시험을 통해 허용값과 소요 안전율을 확보하고 있음을 확인하였다.

따라서 관련 기준에서 요구하는 성능 및 구조 안전성을 모두 확보하고 있는 엘리베이터 설치 작업용 시스템 비계의 현장 보급이 가능하며 이에 따라 추락사고 등 산업재해 예방에 중요한 역할을 할 것으로 기대된다.

단, 본 연구에서 자체적으로 설정한 초과하중 단계에서 수평재의 처짐과 응력이 허용값에 근접하므로, 새롭게 개발된 엘리베이터 설치 전용 시스템비 계의 안전성 강화 및 사용 범위의 확대를 위해서 수평재의 단면 또는 재료 강도 증가에 대한 추가적인 연구가 필요할 것으로 사료된다.

References

1) Korea Elevator Safety Agency (KESA), “Elevator Statistics”, KESA Press Release(2023.02.28.), 2023.
2) Ministry of Goverment Legisiation, “Elevator Safety Management Act”, 2019.
3) O. N. Jeong, Y. S. Yun and O. H. Kwon, “Accident Prevention for the Elevator and Escalator by the Accident Type Analysis” J. Korean Soc. Saf., Vol. 31, No. 4, pp. 15-21, 2016.
4) J. M. Hwang, G. Y. Lee, K. S. Lee and D. S. Jeon, “A Study on the Development of System Scaffolding for Elevator Installation Work”, J. Korean Soc. Saf., Vol. 37, No. 4, pp. 51-57, 2022.
5) S. G. Roh, E. D. Kim, J. S. Oh and J. W. Cho, “An Analysis on the Effect of Application on Vibration Isolation Liner of Elevator Guide Rail Bracket”, Journal of the Korea Convergence Society, Vol. 10, No. 8, pp. 145-151, 2019.
6) S. H. Kim, S. B. Kim, S. H. Kim and S. H. Ham, “Life Estimation of Elevator Wire Ropes Using Accelerated Degradation Test Data”, Transaction of the KSME-A, Vol. 41, No. 10, pp. 997-1004, 2017.
7) S. W. Jang and Y. J. Kim, “A Study on Safety Management Measures for Accident Prevention though User Error Analysis among Elevator Accident Cases”, Journal of the Korea Academia-Industrial Cooperation Society, Vol. 23, No. 3, pp. 549-558, 2022.

8) J. K. Park, “The Survey of the Current Situation for System Scaffolding in the Domestic Construction Site(Ⅱ)”, J. Korean Soc. Saf., Vol. 30 No. 2, pp. 35-40, 2015.
9) J. H. Won, H. D. Lee, M. K. Choi and M.C. Park, “Flexural Strength and Rotational Stiffness Estimation of Joint between Vertical and Horizontal Members in System Support”, J. Korean Soc. Saf., Vol. 33, No. 4, pp. 46-53, 2018.
10) S. S. Ko and J. H. Won, “Analysis of Allowable Compressive Stress Proposed by Design Criteria for Vertical Members of System Scaffolds and Supports”, J. Korean Soc. Saf., Vol. 36, No. 6, pp. 27-33, 2021.
11) Ministry of Land, Infrastructure and Transport, “Scaffolding and Safety Facility Design Standard(KDS 21 60 00:2022)”, 2022.
12) G. Y. Lee, K. S. Lee, S. N. Min, J. J. Hwang and D. S. Jeon, “A Sudy on Safety Wrk Standards and Development of Dedicated Scaffolding for Elevator Installation and Maintenance” OSHRI, 2020-OSHRI-894.
13) Ministry of Employment and Labor, “Announcement of Voluntary Safety Standards for Protective Devices(Notice of MOEL 2022-70)”, 2022.
14) Ministry of Land, Infrastructure and Transport, “Structural Steel member Design Standard(Allowable Stress Design) (KDS 14 30 10:2019)”, 2019.