부분 무기둥 비계구조 골조 거동에 관한 실험적 연구

손기상 · 정희종*

서울과학기술대학교 안전공학과
(2012. 3. 12. 접수 / 2013. 4. 10. 채택)

An Experimental Study on the Behavior of Scaffolding System without a Part of Column

Ki-Sang Son · Jung Hee Jong[†]

Department of Safety Engineering, Seoul National University of Science and Technology
(Received March 12, 2012 / Accepted April 10, 2013)

Abstract : There is a critically structural problem of scaffolding system when one of scaffold columns is remove to be used as a gangway for their temporary office in the structure before finishing all such as an apartment or office building. This is not used to checking to structurally checking at a construction site. This study is to find out which system at a site will be more effective and low-cost-high effectiveness of aluminum ladder, timber ladder, $\varnothing 1/2$ inch steel pipe truss with a type of concave, convex warren truss ladders. Theses are structurally tested with horizontal set as a truss type with 1.8 meter long. Concentrated load has been loaded at the upper center of the system and checked its strain at the bottom center, using aluminum-use strain gage and steel-use gauge have been attached concave warren truss with diameter 1/2 inch has 14% stronger than convex truss. Convex truss has almost same strength as an aluminum ladder truss, it is found out.

Key Words : critically structural problem, steel warren truss, aluminum ladder truss, timber ladder truss, sub assembled scaffold frame

1. 서론

가설공사는 건설공사에서 없어서는 안 되는 필수공정이다. 그러나 현재 국내건설 현장의 나타나고 있는 사고의 원인 중 절반이상을 차지하고 있는 가설관련 사고는 점진적으로 건설회사 자체 점검 및 외부유역기관의 활성화로 연구화의 초기부분에 서 있으나, 아직도 대부분의 사고유형 중 큰 포지션을 차지함으로써 건설안전정책 수립 시 항상 큰 할당을 받고 있을 뿐만 아니라 많은 연구 대상이 되고 있는 것이 현실이다¹⁻³⁾.

현재 국내의 건설현장에서는 비계구조의 중요성의 인식 부족으로 인하여 시공 전에 구조설계 부분을 생략하고, 공기 단축 및 공사비 절감 등의 이유로 소홀하게 다루어지고 있으며, 현장근로자의 경험에 의존하는 것이 사실이며, 이러한 경우 재료비의 산출이 정확히 이루어지지 않고, 또한 안전성을 고려한 비계형태를 효과적으로 적용할 수 없는 실정이다. 가설구조물 자체가 갖고 있는 여러 가지 특징 중 현장의 가변성과 이동을 해야 하는 특징과 구조결합의 불안정성 등 많은 문제점을 내포하고 있는 원인으로 인하여 발생하는 사고를 어떻게 미연에 방지하여야 하는지 알아보기 위하여 현재 건설현장에서 나타나고 있는 사고 원인 중 많은 요인을 차지하고 있는 가설공사 관련 항목 중에서 직접적으로 현장에서 수행되어지고 있는 부분 무기둥 비

계구조의 골조거동에 대해서 목재사다리, 알루미늄사다리, 현장 용접 가새보강 구조, 중간기둥이 없는 비계기둥 구조에 대해서 직접 하중을 재하 하여 실험함으로써 건설현장에서 좀 더 안전한 구조에 대해 활용할 수 있는 방법을 제시하고자 한다.

기존의 트러스스팬 비계구조에 대한 마이너스 프로그램에 의한 등분포하중, 집중하중을 가했을 때 발생하는 변위에 대한 해석 결과를 고려하여 본 연구에서는 실험 제약조건으로 집중하중의 경우만으로 실험하여 재료별, 구조형태별 내력결과를 비교하여 저비용 내력개선 방법을 제시하고자 하였다.

2. 연구방법

2.1. 실험계획

건설현장에서 실제 사용되고 있는 자재를 이용하여 용접연결인 경우와 기존의 알루미늄 사다리 경우, 목재사다리 경우 및 클램프를 결속한 경우의 비계파이프 등에 대해서 같은 하중을 재하하면서 처짐과 변형이 어떻게 발생하는지에 대해서 부재의 하단 중앙부분에 처짐측정기와 스트레인게이지를 설치하여 하중별 처짐 및 변형을 실험하였다. 길이는 건설현장에서 일반적으로 사용되고 있는 1.8 m로 통일되게 제작함을 원칙으로 하였으며, 높이는 현장에

*Corresponding Author: Jung Hee Jong, Tel : +82-2-934-4240 Email : bestpowerbes@naver.com
Department of Safety Engineering, Seoul National University of Science and Technology, 232 Gongrung-ro, Nowon-gu, Seoul 139-743, Korea

Fig. 1. Setup of test specimen.

Fig. 2. Setup of LVDT.

서 통상적인 사용하는 형태를 고려하여 사다리의 경우 45 cm, 파이프의 경우에는 30 cm를 기준으로 적용하였다. Setup of test specimen은 Fig. 1에 나타나있다.

2.2. 재료

Table 1. Properties of materials.

Materials	Properties	Tensile strength	Modulus of elasticity
WOOD		900 kg/cm ²	70,000 kg/cm ²
ALUMINUM		1700 kg/cm ²	700,000 kg/cm ²
STEEL		2400 kg/cm ²	21,000,000 kg/cm ²

Table 2. properties of specimens.

Specimen	type	length	boundary condition	theoretical result (max flexural load)
WOOD LADDER		1.8 m	simply supported	10.8 kg/cm ²
AL-LADDER		1.8 m	simply supported	36.923 kg/cm ²
WARREN -A		1.8 m	simply supported	1263.933 kg/cm ²
WARREN -B		1.8 m	simply supported	1437.102 kg/cm ²
Steel scaffold		1.8 m	simply supported	1561 kg/cm ²

2.3. 실험방법

Fig. 3. Test piece of wood ladder.

$$A = 10 \times 5 \text{ cm} = 50 \text{ cm}^2$$

$$\begin{aligned} I_x &= (A \times y^2) \times 2 (\text{상, 하}) \\ &= (50 \times 20 \text{ cm} \times 20 \text{ cm}) \times 2 \\ &= 40,000 \text{ cm}^4 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 6b &= \frac{M}{I/y (\text{cm}^3)} \\ &= \frac{Pl/6}{I/y} = \frac{720 \times 180}{40,000/20} \\ &= 10.8 \text{ Kg/cm}^2 \\ &90 \text{ Kg/cm} (\text{허용휨내력}) \end{aligned}$$

Table 1에서 제시된 목재 재료의 탄성계수가 상기 공식에 적용되었고, 알루미늄재, 강재들의 탄성계수들이 재료별 트러스구조 휨응력도 계산에 적용되었다.

본 실험은 현장 조건에서 기존 구조분석 없이 진행되고 있는 경우들을 모델화하여 제작하였다. 모든 실험체의 간격은 비계기둥 간격인 1.8 m로 규정하여 실험에 도입하였다. 현장에서 비계기둥을 1층 분 높이에 비계기둥1개를 얹고 출입구 또는 차량통로로 사용할 경우 보강하는 여러 방법 중 상업용으로 제작된 현장 사용 목재 사다리를

Fig. 4. Test piece of aluminum ladder.

그대로 수평으로 배치하여 트러스 형태로 보강하여 저비용으로 큰 구조적 효과를 확인하고자 하였다. 비계기둥 간격인 1.8 m를 1구간으로 하여 실험체를 설치하는 것으로 하였으며, 목재사다리의 실험방법에 대한 그림은 Fig. 3에 나타나있다.

Fig. 4에서는 크기는 갖지만 목재가 아닌 알루미늄 사다리를 목재사다리 실험시와 같은 방법으로 하여 처짐과 중앙부재의 인장변형 최대하중을 측정하였다.

알루미늄 사다리

KS규정 6063 T5인장강도 110 N/mm²

$$A = 10 \times 5 - 8 \times 3 = 26 \text{ cm}^2$$

$$\begin{aligned} I_x &= (A X y^2) \times 2 \\ &= (26 \times 20 \times 20) \times 2 \\ &= 20,800 \text{ cm}^4 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 6b &= \frac{M}{I/y} = \frac{Pl/6}{I/y} = \frac{(1280 \times 180 \text{ cm})/6}{20,800/20} \\ &= 36.923 \text{ Kg/cm}^2 \\ 1120 \text{ Kg/cm} &(\text{허용휨내력}) \end{aligned}$$

Fig. 5. Test piece of warren-A type.
강관 $\varnothing 2.5$ cm 와렌A트러스 $\varnothing 2.5$, 내경 2.3 cm

$$\begin{aligned} I_x &= (A X y^2) \times 2 \\ &= \left[\left(\frac{2.5}{2} \right)^2 \times 3.14 - \left(\frac{2.3}{2} \right)^2 \times 3.14 \right] \\ &\quad \times 20 \times 20 \text{ Cm} \times 2 \\ &= 602.88 \text{ cm}^4 \\ 6b &= \frac{M}{I/y (\text{Cm}^2)} \\ &= \frac{Pl/6}{I/y} = \frac{(1270 \times 180)/6}{602.88/20} \\ &= 1,263.933 \text{ kg/cm}^2 \end{aligned}$$

Fig. 5에서는 Fig. 6의 대각 현재가 인장력을 받는데 비해 반대방향인 압축력을 받는 형태로 $\varnothing 1/2$ 인치를 사용하여 저비용구조적용을 고려하였다. 처짐과 중심부 하단의 인장부재의 변형, 최대하중을 측정하였다.

Fig. 6. Test piece of warren-B type.
강관 $\varnothing 2.5$ cm 와렌B트러스 $\varnothing 2.5$, 내경 2.3 cm

$$\begin{aligned} 6b &= \frac{M}{I/y (\text{cm}^2)} \\ &= \frac{Pl/6}{I/y} = \frac{(1440 \times 180)/6}{602.88/20} \\ &= 1,437.102 \text{ kg/cm}^2 \\ 1600 \text{ Kg/cm}^2 &(\text{허용휨내력}) \end{aligned}$$

Fig. 5, 6에서와 같이 가장 단순한 저비용 구조인 와렌 트러스 형태로 간단한 가새보강으로 삼각형 구조형을 만들어 대각과 수직 현재가 모두 인장력을 받는 경우를 실험하였다. Fig. 4와 같이 $\varnothing 1/2$ 인치를 사용하여 비교적 저비용강관트러스 제작을 고려하였다.

Fig. 7에서는 중간기둥이 없는 비계기둥 상단 좌우측 우각부를 현장에서 용이하게 저비용으로 할 수 있는 높이 50 cm, 수평 45° 수직 45° 지점을 클램프로 연결 고정된 후 중앙에서 하중을 재하하여, 중앙지점의 처짐, 변형, 최대하중을 측정하였다. 이때 중앙지점에 처짐 측정용 처짐측정기 1개가 설치되고, 스트레인게이지 1개가 부착되었다. 처짐측정기의 사진은 Fig. 2에 나타나있으며, Warren-A와 B형 에 사용한 구조관과 $\varnothing 2$ 인치 강관의 규격은 Table 3 와 4에 나타나있다.

Fig. 7. Test piece of 2 inch steel pipe with corner brace.

Table 3. Standard of Warren-A,B type.

quality of material	KSD3566
diameter	21.7 mm
thickness	2.0 mm
specific weight	0.972 kg/m

Table 4. Standard of $\varnothing 2$ inch steel pipe.

quality of material	SPS500
diameter	48.6 mm
thickness	2.3 mm
Max.load of the clamp	1.5 t

3. 실험결과

연구방법에 제시되었듯이 목재사다리, 알루미늄사다리, $\varnothing 1/2$ 인치 와렌트리스 A형과 B형, 강관파이프 조립형 구조들이 하중계로 가압되어 측정된 최대하중이 Table 5 나타나 있으며, 하중에 따른 변형 및 처짐 그래프는 Fig. 12~20에 나타나있다.

3.1. 파괴양상

재료별 트러스유형별 파괴양상은 다음과 같다.

Fig. 8. Flexural failure of AL-LADDER.

Fig. 9. Flexural failure of Warren A.

Fig. 10. Flexural failure of Warren B.

Fig. 11. Flexural failure of 2 inch steel pipe scaffold.

Fig. 12. Strain of wood ladder.

Fig. 13. Strain of aluminum ladder.

Fig. 14. Deflection of aluminum ladder.

Fig. 15. Strain of Ø1/2inch warren-A type.

Fig. 16. Deflection of Ø1/2inch warren-A type.

Fig. 17. Strain of Ø1/2inch warren-B type.

Fig. 18. Deflection of Ø1/2inch warren-B type.

Fig. 19. Strain of 2inch steel pipe with corner brace

3.2. 하중 변형 곡선

목재 사다리를 트러스 형태로 배치하여 하중을 받을 때 변형은 1차 곡선으로 P- ϵ 관계를 나타내었으며, 하중에 따른 변형 그래프는 Fig. 12에 나타나있다.

상업용으로 판매되는 알루미늄 사다리를 트러스형태로 배치하여 하중을 가했을 때의 변형은 철재와 같이 상위 하

위 항복점 양상을 나타냈다. 알루미늄사다리의 하중에 따른 변형 및 처짐 그래프는 Fig. 13와 Fig. 14에 나타나있다.

Ø1/2 인치 A타입 가새 골조는 일반철재 특성과 유사한 커브로 변형하였으며, 하중에 따른 그래프는 Fig. 15과 Fig. 16에 나타나있다.

Ø1/2 인치 파이프 B타입 와렌트러스형에서는 A형 보

Fig. 20. Deflection of 2inch steel pipe with corner brace.

다는 가파른 커브를 형성하였으며, 하중에 따른 변형 및 처짐 그래프는 Fig. 17과 Fig. 18에 나타나있다.

Ø2인치 일반 비계용 광관파이프이면서 좌우 우각부를 같은 직경의 삼각형 형태로 보강한 일반 현장조건에서의 변형은 철재의 일반유형과 유사형상으로 변형되었으며, 변형 및 처짐 그래프는 Fig. 15와 Fig. 16에 나타나있다.

3.3. 최대강도비교

Table 5. Test results of each variable.

Specimen	f_c (Mpa)	V_{max} (KN)	$\frac{V_{max}}{V_f}$	$\frac{f_c}{f_b}$	Failure mode
WOOD LADDER	1.08 Mpa (10.8 kg/cm ²)	3.528 KN (0.36 t)	0.77	1/9	shear
AL- LADDER	3.69 Mpa (36.92 kg/cm ²)	6.272 KN (0.64 t)	0.130	1/40	flexural
WARREN-A	126.39 Mpa (1263.93 kg/cm ²)	6.223 KN (0.635 t)	0.228	8/10	flexural
WARREN-B	143.71 Mpa (1437.10 kg/cm ²)	7.056 KN (0.72 t)	0.26	9/10	flexural

f_c = flexural stress(kg/cm²)

f_b = allowable flexural stress(kg/cm²)

4. 분석

1) 목재 2×4 각재로 구성된 사다리 골조는 트러스형으로 하중을 받을 때의 최대하중은 0.75 t으로 나타났다.

2) 알루미늄 상업용으로 제작된 알루미늄 사다리의 트러스형 재하시 최대하중은 1.28 t으로 나타났다. 트러스형 보로 적용시 Ø1/2인치 광관파이프 와렌트러스형과 유사한 휨내력을 갖는 것으로 분석되었다.

3) 강관 Ø1/2부재로 구성된 와렌트러스 A형(블록형)의 최대하중은 1.27 t, 와렌트러스 B형(오목형)의 최대하중은 1.44 t으로 나타나, 그 차이가 A형(블록형)에 비하여 B형(오목형)이 14%정도 높은 최대하중을 갖는 것으로 나타났다.

4) 통상건설현장에서 구조성능체크 없이 조립해두는 삼각형골조 강관파이프 삼각형 골조의 최대하중은 1.61 t으로 나타났다.

5) 상업용 알루미늄사다리형 트러스 보와 와렌트러스 A형은 유사한 내력을 갖는 것으로 측정된 것은 현장적용에 상당한 기준이 될 수 있다.

6) 이론해석에 의한 휨강도 계산에서 목재, 알루미늄 철재 별 허용 휨응력도 내에서 최대외력으로 작용되고 있음이 확인 되었다.

목재는 1/9, 알루미늄은 1/40, 강재는 9/10이내에서 최대외력이 작용한 것으로 계산된 것이다.

5. 결론

이상과 같은 실험과 분석을 통하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 현장사무실 출입 등 다른 용도를 위해 현장비계 기둥의 1-2층 문 일부를 절단 시 보강은 와렌트러스 B형과 같은 형태로 트러스형 배치 보강하는 것이 가장 경제적이고 구조적이다.

2) 현장에서 용이하게 적은 재료비로 이용가능한 Ø1/2인치 강관 제작 사다리형 트러스적용은 비계구조의 구조적 적용효과를 기대할 수 있는 것으로 판단된다.

3) 와렌트러스형으로는 B형 오목형 트러스로 배치하는 것이 더 큰 내력 증가를 갖는 것으로 판단된다.

감사의 글: 이 연구는 서울과학기술대학교 교내 연구비 일부지원에 의하여 수행되었습니다.

Reference

- 1) Ministry of Labor, "Rules for Industrial Safety and Health, pp. 359~402", www.moel.go.kr, 2012.
- 2) T. G. Kim, "Resistant Countermeasures for Building and Seismic Status in Korea", Housing and Urban, Vol. 84, pp. 61~62, 2005.
- 3) Y. C. NA, "an Experimental Study on the Resistant Capacity of Steel Scaffolding System", Masters Degree, Seoul National University of Science and Technology, pp. 32, 2007.