

# 강관비계의 좌굴특성에 관한 연구

백신원<sup>†</sup> · 송인용<sup>\*</sup>

한경대학교 안전공학과 · \*한국산업안전보건공단  
(2009. 11. 9. 접수 / 2010. 2. 10. 채택)

## A Study on the Buckling Characteristics of Steel Pipe Scaffold

Shinwon Paik<sup>†</sup> · Inyong Song<sup>\*</sup>

Department of Safety Engineering, Hankyong National University  
\*Occupational Safety & Health Research Institute  
(Received November 9, 2009 / Accepted February 10, 2010)

**Abstract** : Formwork is a temporary structure that supports its weight and that of fresh concrete as well as construction live loads. Scaffolding is a temporary frame used to support people and material in the construction or repair of buildings and other large structures. It is usually a modular system of metal pipes, although it can be made out of other materials. Bamboo is still used in some Asian countries like China. The purpose of a working scaffold is to provide a safe place of work with safe access suitable for the work being done. In construction site, steel pipes are usually used as scaffolds. In this study, scaffolding systems which is changed according to sleeper and joist space were measured by buckling test. Buckling load of respective scaffolding system was analyzed by structural analysis program(MIDAS). Buckling load of scaffold with/without wall connection and footboard was got by test and structural analysis. According to these results, we know that scaffolding system of case 3 is suitable. Buckling load of scaffold with wall connection is higher than without wall connection. So wall connection is important in scaffolding systems. Footboard in the scaffolding systems is not effective against promotion of buckling load. Finally, the present study results will be used to design scaffolding systems safely in the construction sites.

**Key Words** : temporary structure, scaffolding system, sleeper, joist, wall connection, footboard

### 1. 서론

우리가 주의 깊게 관찰하지 못하고 그냥 넘어가는 가설재는 인류역사와 함께 해왔다고 해도 과언이 아닐 만큼 우리 주위에서 늘 사용되어져 왔다. 가설공사라 하면 건설현장에서 사용되는 현장사무소, 울타리, 가설 전기, 가설통로 등의 본 공사와 비교하여 별 중요성이 없어 보이는 것들을 통칭 가설공사라고 생각하는 사람들이 많다. 그러나 가설공사란 본 구조물을 축조하기 위하여 요구되는 모든 선행공사를 말하며 여기에 소요되는 모든 자재가 가설재라고 할 수 있으며 이는 대부분 본 구조물 완공 후에는 철거되거나 소멸되어 없어지기 때문에 그 중요성이나 안전성을 잘 경시하는 경향이 있다. 아름다운 건축물이나 대형 경기장 같은 것을

보게 될 때 대부분 그 결과물 자체에 관심을 가지게 되지 이러한 구조물들을 어떻게 공간에 구현해냈을까 하는 과정에 대해서는 별 관심이 없다<sup>1-3)</sup>.

우리가 흔히 말하는 건설기술의 '신공법'이라는 것도 따지고 보면 대부분 새로운 가설공법이라는 것을 새삼 느끼게 된다. 이 말은 건설공사에서 가장 창의력을 발휘할 수 있는 부분이 바로 이런 가설공사가 될 수 있다는 것이다. 가설재, 즉 가설공사에 쓰여 지는 자재는 처음부터 별도로 가설재를 만들기 위한 것은 없으며 똑같은 자재라 하더라도 그 쓰여 지는 경우에 따라 가설재가 되기도 하고 구조물을 구성하는 건설자재가 되기도 한다. 같은 H형강이라 하더라도 지하철 공사장에서 흙막이의 토류벽을 설치하기 위하여 쓰였을 때는 가설재가 되고 빌딩의 골조기둥으로 쓰일 때는 건설자재가 된다는 말이다. 이러한 가설자재 중에서도 특히 비계류는 벽돌 등의 조적공사 및 외벽공사에 사용되어 왔으며, 거꾸집동바리 가설구조물은 철근콘크리트

<sup>†</sup> To whom correspondence should be addressed.  
paiksw@hknk.ac.kr

공사의 발달과 함께 해 왔다<sup>4,5)</sup>.

80년대 중반까지는 통나무 비계와 철사를 이용하여 설치하였으며, 이에 대한 구조검토는 전혀 없었다. 콘크리트보나 슬래브의 받침에도 주로 목재가 쓰였고 이에 대한 설계도 목수들의 경험에 의존하였다. 현재 사용되는 비계는 나무에서 금속으로 재질이 발전되었지만 소규모 공사장에서 비계설치는 여전히 작업자의 경험에 의해 설치되고 있으며, 그 설치의 안전보다는 작업성이나 편리성에 중점을 두고 있는 것이 현실이다.

최근 시스템 비계 등 신기술과 신재료의 발달이 빠르게 진행되고 있으나 건설회사들의 현실은 기존에 보유하고 있는 강관비계를 폐기하고 새로운 시스템 비계로 완전 교체하기에는 너무 비용부담이 큰 관계로 앞으로도 당분간 강관비계를 사용할 수밖에 없는 상황이다. 현재 사용되고 있는 강관비계의 효율적인 사용과 안전성을 증진시키는 방법을 고안하여 건설현장에 적용성이 높은 강관비계 추락 예방대책을 제시함으로써 동종 유사재해를 방지할 필요성이 있다<sup>6)</sup>.

본 연구에서는 산업안전보건법에 명시된 강관비계 피장 및 장선간격(1.5m)을 현장 및 작업자의 작업여건에 맞게 강관비계에서 작업발판을 설치할 수 있는 조건으로 바꾸어 주기 위하여 강관비계의 피장 및 장선간격에 따른 좌굴실험을 통해 그 대안을 찾아 각 건설 사업장에서 강관비계에 작업발판 및 안전시설을 설치하여 작업을 시행하게끔 함으로써 추락으로 인한 근로자 재해를 획기적으로 감소시키는데 그 목적이 있다.

## 2. 실험방법

본 연구에서는 장주효과로 인한 기둥의 좌굴경향이 발휘되도록 시험체의 높이를 9m로 하였으며, 기둥의 간격은 피장방향으로 1.5m, 장선방향으로 1.2m로 계획하였다. 실험변수는 피장 및 장선의 간격을 1.5m로 한 기존 강관비계, 피장 및 장선의 간격을 1.8m로 한 Case 1, 피장 전면부만 0.9m 간격이고 피장 후면부와 장선의 간격을 1.8m로 한 Case 2, Case 2에 전면부에 가새를 두는 Case 3이며, 각 실험변수당 4개의 시험체를 만들어 실험을 실시하였다. 이때 각 시험체의 기둥 중앙부분에 스트레인 게이지를 부착하여 각 하중에 따른 변형율을 측정하였고, 또한 각 시험체의 전면부 중앙부분의 양끝에 변위게이지를 부착하여 각 하중에 따른 변위를

Table 1. Scaffold Test Summary

Test variable	Support space		Span number	Height (m)	Sleeper space (m)	Joist space (m)	Bracing	Test number
	Sleeper direction (m)	Joist direction (m)						
Present standard	1.5	1.2	2	9	1.5	1.5	No bracing	4
Case 1	1.5	1.2	2	9	1.8	1.8	No bracing	4
Case 2	1.5	1.2	2	9	0.9	1.8	No bracing	4
Case 3	1.5	1.2	2	9	0.9	1.8	Bracing	4
Case 4	1.5	1.2	2	9	1.8	1.8	Bracing	-

측정하였다. 이러한 하중, 변형율, 변위 등은 TDS-303 데이터로거와 Visual Log 프로그램을 이용하여 측정하였다. 본 연구에서는 또한 실험결과와 비교하기 위해 각 실험변수에 대한 좌굴 구조해석을 수행하였고, 이때 건축 및 토목 구조물의 설계 및 안전성 검사에 주로 사용되고 있는 MIDAS 프로그램을 사용하였다.

Table 1은 본 연구의 장선 및 피장 간격에 따른 실험변수를 요약한 표이다.

## 3. 실험결과 및 분석

강관비계의 각 실험변수에 따른 MIDAS 프로그램을 이용한 좌굴하중은 Table 2와 같으며, 이때 경계조건은 시험체의 경계조건과 같이 하부는 고정단, 상부는 위아래로 자유스럽게 이동할 수 있는 고정단으로, 비계기둥 및 피장, 장선과의 클램프연결은 일체화된 것으로 보고 해석을 수행하였다. 이때 Case 4는 Case 2에 가새를 설치한 경우를 의미하며, 본 연구에서는 구조해석만을 수행하였고, 실험은 수행하지 않았다.

강관비계의 각 실험변수에 따른 좌굴하중은 Table 3과 같으며, 이때 상부프레임의 자중(600kgf)을 고려하였다.

Table 2. Buckling load of scaffold(Structural analysis)

Test variable	Buckling load (Structural analysis) (tf)	Remarks
Present standard	26.148	
Case 1	20.676	
Case 2	20.730	
Case 3	21.564	
Case 4	21.462	

Table 3. Buckling load of scaffold(Test)

Test variable	Buckling load (tf)	Buckling load including upper flange weight (tf)	Mean buckling load (tf)
Present standard	Test 1	10.835	12.07
	Test 2	10.219	
	Test 3	11.897	
	Test 4	12.914	
Case 1	Test 1	7.733	10.39
	Test 2	9.334	
	Test 3	11.282	
	Test 4	10.830	
Case 2	Test 1	9.053	10.48
	Test 2	11.178	
	Test 3	10.021	
	Test 4	9.262	
Case 3	Test 1	8.707	10.76
	Test 2	12.183	
	Test 3	8.894	
	Test 4	10.841	

Table 4는 강관비계의 각 실험변수에 따른 실험 값 및 구조해석값에 대한 표이며, Fig. 1은 이에 대한 비교그림으로써 각 실험변수에 따른 실험값이 구조해석값과 동일한 경향을 보였으며, 특히 실험 값은 구조해석값의 약 49% 정도의 좌굴하중값을 보임을 알 수 있다. 따라서 추후 강관비계의 좌굴 하중 산정에 있어 이 결과값은 좋은 자료로 활용 될 수 있을 것으로 사료된다.

본 연구에서는 벽이음이 설치된 강관비계의 실험은 연구내용에 포함되어 있지 않으나, 강관비계와 동일한 실험변수에 단지 벽이음이 설치된 것에 대해 모델링하여 MIDAS 구조해석 프로그램을 이용하여 좌굴해석을 실시하였다. ‘산업안전기준에 관한 규칙’에 의하면 비계에서 벽이음은 수평 및 수 직방향으로 5.0m 이내마다 설치하도록 되어 있

Table 4. Comparison of buckling load between structural analysis and test

Test variable	Structural analysis (tf)	Test (tf)	Relative buckling load(test/structural analysis)	Remarks
Present standard	26.148	12.07	46	
Case 1	20.676	10.39	50	
Case 2	20.730	10.48	51	
Case 3	21.564	10.76	50	
Case 4	21.462	-	-	

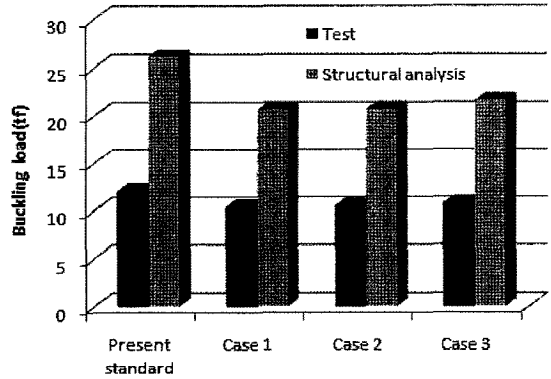


Fig. 1. Comparison of buckling load between test and structural analysis.

나, 본 강관비계 실험구조물의 경우 높이가 9.4m이고, 폭이 3m이기 때문에 중앙에 하나의 벽이음이 설치된 것으로 모델링하였다<sup>7,8)</sup>. 이때 Case 4는 Case 2에 가새를 설치한 경우를 의미한다.

Table 5는 벽이음이 있는 경우와 벽이음이 없는 경우에 대한 구조해석 좌굴값이며, Fig. 2는 이에 대한 그림으로 Table 5 및 Fig. 2에서 보는 바와 같이

Table 5. Buckling load of scaffold with wall connection(structural analysis)

Test variable	scaffold with wall connection (tf)	scaffold without wall connection (tf)	Relative buckling load (without/with wall connection)	Remarks
Present standard	31.242	26.148	120%	
Case 1	26.520	20.676	128%	
Case 2	27.564	20.730	133%	
Case 3	28.890	21.564	134%	
Case 4	28.548	21.462	133%	

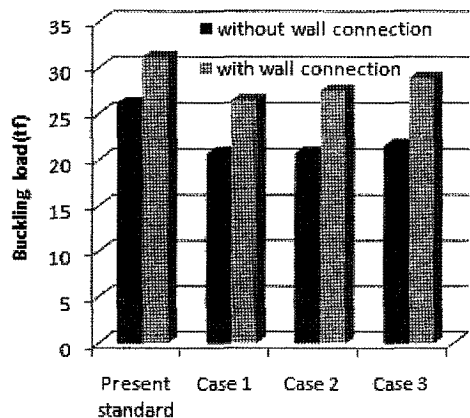


Fig. 2. Comparison of buckling load between scaffold with and without wall connection(structural analysis).

Table 6. Buckling load of scaffold with wall connection(estimated test value)

Test variable	scaffold with wall connection(tf)	Remarks
Present standard	14.484	
Case 1	13.299	
Case 2	13.938	
Case 3	14.418	
Case 4	14.274	

벽이음이 있는 경우의 구조해석에 의한 좌굴하중은 벽이음이 없는 경우에 비해 평균 약 30% 정도 증가함을 알 수 있었으며, 이를 적용하여 벽이음이 있는 경우의 실험값도 추정할 수 있다. 이때 Table 6은 구조해석값을 근거로 추정한 벽이음이 있는 경우의 실험값을 나타낸 표이다.

일반적으로 작업발판은 금속재, 판재, 합판재 등 세 종류가 있으나 강관비계에서는 주로 금속재 작업발판이 사용된다.

본 연구에서는 작업발판이 설치된 강관비계의 실험은 연구내용에 포함되어 있지 않으나, 제3장에서 언급한 강관비계와 동일한 실험변수에 단지 작업발판이 설치된 경우에 대해 모델링하여 MIDAS 구조해석 프로그램을 이용하여 좌굴해석을 실시하였다. 이때 모델링에서 작업발판부재는 실제 금속재 작업발판과 동일한 단면적과 단면2차모멘트를 가지는 직사각형단면으로 가정하였고, 작업발판은 폭 40cm 금속재 하나가 설치된 것으로 보고 구조해석을 수행하였다.

Table 7에서 보는 바와 같이 작업발판이 설치된 경우의 구조해석에 의한 좌굴하중은 작업발판이 설치되지 않은 경우와 거의 동일한 값을 보여, 작업발판은 강관비계의 좌굴에 전혀 영향을 미치지 않은 것으로 나타났다. 따라서 강관비계 해석시 작업발판은 고려하지 않아도 되며, 장선에 놓이게 되는 독립된 보로 해석을 하는 것이 좋을 것으로 사료된다.

Table 7. Buckling load of scaffold with footboard(structural analysis)

Test variable	Scaffold with footboard (tf)	Scaffold without footboard (tf)	Relative buckling load(with/without footboard)	Remarks
Present standard	26.148	26.148	100%	
Case 1	20.790	20.676	101%	
Case 2	20.760	20.730	100%	
Case 3	21.570	21.564	100%	
Case 4	21.468	21.462	100%	

## 5. 결론

본 연구에서는 장주효과로 인한 기둥의 좌굴경향이 발휘되도록 시험체의 높이를 9m로 하였으며, 기둥의 간격은 피장방향으로 1.5m, 장선방향으로 1.2m로 계획하였다. 실험변수는 피장 및 장선의 간격을 1.5m로 한 기존 강관비계, 피장 및 장선의 간격을 1.8m로 한 Case 1, 피장 전면부만 0.9m 간격이고 피장 후면부와 장선의 간격을 1.8m로 한 Case 2, Case 2에 전면부에 가새를 두는 개선된 Case 3이며, 각 실험변수당 4개의 시험체를 만들어 실험을 실시하였고, 각 실험변수에 대해 MIDAS 구조해석 프로그램을 이용하여 좌굴해석을 실시하였는데, 이때 Case 4는 Case 1에 가새를 설치한 경우로서 실험이 아닌 구조해석만을 실시한 변수로서, 이러한 결과로부터 얻은 결론은 다음과 같다.

- 1) 좌굴하중(실험값)은 기존 강관비계, Case 3, Case 2, Case 1 순으로 낮아지는 경향을 보였다.
- 2) 좌굴하중(구조해석값)은 기존 강관비계, Case 3, Case 4, Case 2, Case 1 순으로 낮아지는 경향으로 실험값과 같은 경향을 보였다.
- 3) 기존 강관비계의 좌굴하중에 가장 가까운 값을 보이는 것은 실험값에서는 가새를 설치한 Case 3, 구조해석값에서는 Case 3, Case 4 임을 알 수 있어, 좌굴에 가새가 중요한 영향을 미침을 알 수 있었다.
- 4) 실험 좌굴하중값은 구조해석에 의한 좌굴하중의 약 50% 정도의 값을 보임을 알 수 있었다.
- 5) 실험과 구조해석 결과에서 알 수 있듯이 기존 강관비계를 변경하기 위해서는 Case 3을 채택하는 것이 좋을 것으로 사료된다.

**감사의 글 :** 본 연구는 2008년 한국산업안전보건공단 산업안전보건연구원의 지원에 의한 것으로 이에 감사드립니다.

## 참고문헌

- 1) Formwork for Concrete, M. K. Hurd, 1992.
- 2) 최순주, “거푸집·동바리 붕괴재해 사례분석을 통한 재해원인과 예방대책”, 한국콘크리트학회 제19회 기술강좌, 1999. 12.
- 3) 백신원, 최순주, “A Study on the Safety Model of Temporary Structures”, 제1회 한·일 안전공학 학술발표대회, 1999. 11.

- 4) 백신원, 노민래, “재사용 파이프서포트의 내력변화 연구(I)”, 한국안전학회지, 제19권, 제2호, 2004.
- 5) 백신원, 노민래, “재사용 파이프서포트의 내력변화 연구(II)”, 한국안전학회지, 제20권, 제3호, 2005.
- 6) 백신원, 최순주, “재사용 파이프서포트의 내력변화 연구(III)”, 한국안전학회지, 제21권, 제3호, 2006.
- 7) 파이프서포트의 내력에 관한 연구, 한국산업안전공단 산업안전보건연구원, 1999. 12.
- 8) 6m 파이프 서포트의 구조성능 및 안전성 평가, 가설기자재 시험연구소, 1998. 8.