

가설 단관 비계의 안전성에 대한 실험적 연구

An Experimental Study on the Safety of Temporary short pipe Scaffolding

채 원 규*
Won-Kyu Chai

ABSTRACT

In this thesis, the fracture tests and structural analysis were performed on a series of temporary scaffolding to investigate the variation of strength and the safety of temporary scaffolding.

The specimens were of height 270cm and width 50cm and their span was 120cm. The joint loading and member loading were used in the tests, respectively. In these tests, the fracture mode of temporary scaffolding, relationships between the loading and the flexural strain of the specimens were observed.

According to the comparison between the test results and the structural analysis results, the effects of the vertical loads and horizontal loads on temporary scaffolding and the safety of temporary scaffolding were studied.

1. 서 론

최근 건축물의 초고층화와 더불어 공기단축 등의 요구에 의해 건설자재에 대한 구조적 안전성과 효율성에 대한 정립화가 요구되고 있는 실정이다. 특히 가설공사에 사용되는 건설자재는 자재 자체에 대한 연구투자가 적어서 품질향상, 원가절감 및 산업재해 예방에 많은 문제점을 내포하고 있으며, 이는 불필요한 인건비의 부담과 작업원의 안

전성을 저해하는 산업재해의 원인으로 작용하기도 한다.

이에 따라 본 연구에서는 건설자재로 사용되고 있는 가설 비계의 안전성을 평가하기 위해 일련의 실험하중에 의한 재하실험과 구조해석을 실시하였으며, 이들 결과를 비교, 분석하여, 건설 가설 비계의 사용성을 평가하고 더욱 최적화된 공법으로 비계공사를 시공할 수 있도록 그 방안을 검토하였다.

본 연구의 내용은 크게 실험과 구조해석으로 대

* 신구전문대학 토목과

별되어 구성되며, 실험시 가설비계의 실 구조물 시험체에 절점하중과 부재하중을 재하하여 하중변화에 대한 시험체 각 부재에 대한 변형률을 측정하였으며 이들 결과를 고찰하여 하중경우별로 가장 취약한 부재를 선별하였다. 또한 실험에 사용한 시험체 및 시험체의 연결 구조물에 대해 여러가지 하중상태로 구조해석을 실시하였으며, 이들 결과를 이용하여 실험에서 선별된 시험체의 취약 부재의 거동을 실험결과와 비교, 분석하였다.

2. 실험

2.1 실험계획

현재 공사현장 등에서 가설 자재로 많이 사용하고 있는 가설 비계를 실험기기의 하중재하 조건에 적합한 크기로 제작하여 실험하였다. 실험시 각 시험체들에 대하여 하중 변화에 대한 변형률을 측정하기 위하여 축부재에서는 단관의 바깥쪽에, 수평부재에서는 단관의 아래쪽에 변형률 게이지를 부착하였으며, 만능시험기를 이용하여 하중을 재하 하였다. 하중은 시험체가 파괴될 때까지 1kg/sec의 속도로 재하하였으며, 하중이 500kg씩 증가할 때마다 변형 측정기에 의해 변형률을 측정하였다. 아울러 실험에서 얻어진 변형률 값을 이용하여 하중-변형률 선도를 작성하였으며, 구조해석에서 얻어진 결과와 비교 분석하였다. 본 실험의 측정시스템은 Table 1, 실험에 사용된 측정기기는 Table 2와 같다.

Table 1 Program system for test

Strain Gage
Scanning Box
Digital Strain Meter
Data Recorder
Personal Computer

Table 2 Measuring instruments used test

Machine name	Measurement	Specifications
Multi channel strain meter	Static strain	PSD-701, Shinkoh, Japan
Data recorder	Static and dynamic data	RCD-926F, Shinkoh, Japan
Multicorder	Static and dynamic data	RWV-500, Kyowa, Japan
Scanning box	Static and dynamic strain	750-2, Shinkoh, Japan
Displacement transducer	Displacement	ID-3572-50 Shinkoh, Japan
Micrometer	Size	62127, Seiki, Japan
Tester	Resistance and voltage	UT-360F, Samill, Korea
Personal computer	Data analysis	486DX, Microland, Korea
Calibration device	Device for displacement calibration	Shinkoh, Japan

2.2 시험체

본 연구의 재하실험에 사용된 시험체는 외경이 5cm, 내경이 4.6cm, 두께 0.2cm인 강관 파이프를 사용하여 폭 0.5m, 길이 1.2m, 높이 2.7m의 크기로 일정하게 제작하였다. 이들 시험체에 대한 구조적 형상과 고찰된 변형률 게이지 부착위치 및 하중의 재하위치는 각각 Fig. 1, 2, 3, 4와 같다. Fig. 1, 2에서 시험체 A-1은 상단 축부재 4곳에 절점하

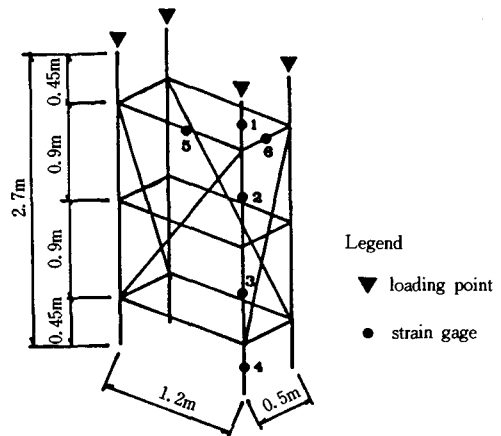


Fig. 1 Loading point and location of strain gage(A-1)

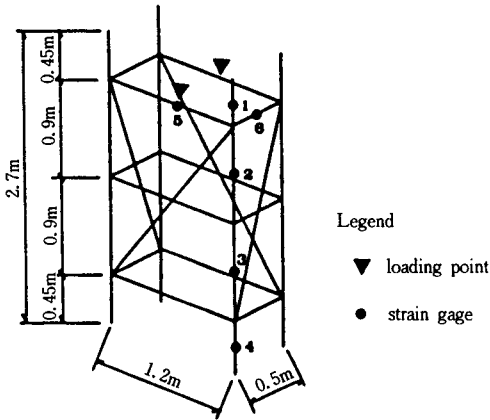


Fig. 2 Loading point and location of strain gage(B-1)

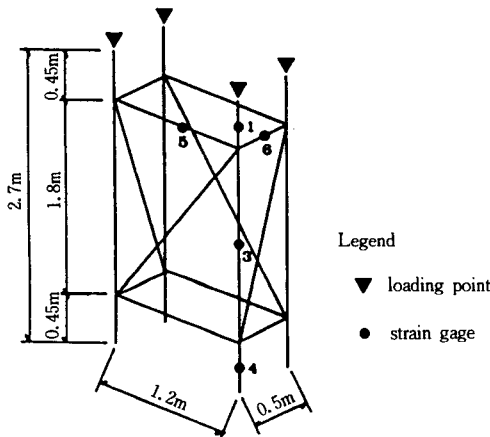


Fig. 3 Loading point and location of strain gage(A-2)

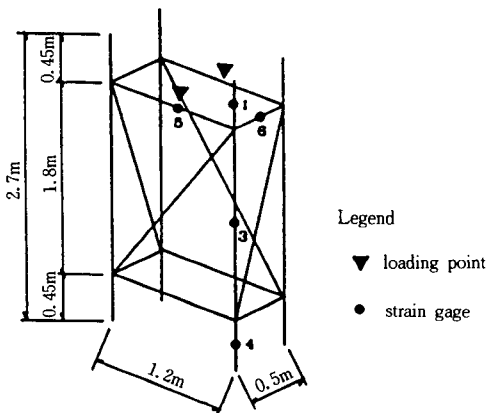


Fig. 4 Loading point and location of strain gage(B-2)

중을 재하하였고, 시험체 B-1은 상단의 수평부재 2곳의 중앙에 부재하중을 재하하였다. Fig. 3,4는 Fig. 1,2의 시험체에서 중간의 수평부재가 제거된 시험체로서, 시험체 A-2는 시험체 A-1과 마찬가지로 상단 축부재 4곳에 질점하중을 재하하였고, 시험체 B-2는 시험체 B-1과 마찬가지로 상단의 수평부재 2곳의 중앙에 부재하중을 재하하였다.

2.3 실험결과 및 고찰

본 연구에서는 재하실험으로 부터 시험체들의 각 부재의 변형률을 측정하였으며, 측정결과로부터 시험체의 변형률값이 크게 나타나는 즉 하중 부담이 큰 주요 측정점들을 선별하였으며, 이들 주요 측정점에서는 변형률값을 비교 분석하였다. 또한 하중재하시 각 시험체의 극한하중값을 조사하였으며, 극한하중시의 주요 측정점들의 변형률값을 Table 3에 나타내었다.

Table 3 Ultimate load and strain at the ultimate load

Measurement point number	Strain at the ultimate load			
	A-1	A-2	B-1	B-2
Ultimate load	7700kg	7575kg	1200kg	1025kg
1	-0.000723	-0.001754	-0.000045	-0.000013
2	-0.000794	-	0.001330	-
3	-0.000400	-0.000992	-0.000071	0.000634
4	-0.000885	-	-0.000126	-0.000142
5	0.000019	0.000070	-0.002925	-
6	-0.000045	-	-0.000186	-0.000081

Table 3에서 알 수 있듯이 질점하중을 재하한 시험체인 시험체 A-1과 시험체 A-2는 각각 7700kg과 7575kg의 극한하중을 받을 수 있었으며, 부재하중을 재하한 시험체인 시험체 B-1과 시험체 B-2는 각각 1200kg과 1025kg의 극한하중을 받을 수 있었다. 따라서 시험체 A-2와 시험체 B-2가 시험체 A-1과 시험체 B-1에 대해 중간 수평부재가 생략된 시험체임을 감안할 때, 중간 수평부재가 생략된 시험체는 정상적인 시험체에 비해 질점하중 재하시에는 극한하중이 1.6% 감소된데 비하여, 부재하중 재하시에는 극한하중이 14.6% 감소됨으로써 가설 비계에서의 중간 수평부재의 역할이 큼을 알 수 있다.

한편 실험결과로부터 분석된 각 시험체의 하중

-변형률 선도의 고찰 결과, 절점하중 재하시에는 축 부재가 대부분의 하중을 지탱하였으며, 이들 축부재 중에서도 하단의 축 부재의 변형이 가장 컸다. 또한 부재하중 재하시에는 하중이 작용되는 부재에 가장 큰 변형을 나타냈고, 하중이 재하되는 스펀과 연결된 하부의 축부재에도 많은 변형이 생김을 알 수 있었다.

3. 강관 비계의 강도 분석

3.1 구조해석

본 연구에서는 여러가지 모델에 대하여 구조해석 프로그램인 SAP90을 이용하여 구조해석을 실시하였다. 구조해석시 사용한 모델은 실험에 사용된 시험체인 시험체 A-1, B-1, A-2, B-2와 같은 제원의 모델 A-1, B-1, A-2, B-2와 시험체 A-1, B-1의 제원을 실제 현장에서 사용되고 있는 크기로 그 폭과 높이를 늘린 모델 A-3, B-3, A-4, B-4, A-5, B-5로 모두 10개의 모델에 대하여 수행하였다. 이들 모델들에 대한 구조해석 결과를 이용하여 모델 A-1, B-1, A-2, B-2의 구조해석 결과에 의한 계산치를 시험체 A-1, B-1, A-2, B-2의 실험 결과인 실측치와 비교하였으며, 모델 A-3, B-3, A-4, B-4, A-5, B-5의 구조해석 결과는 모델 A-1, B-1의 구조해석 결과와 비교하여 가설 비계의 높이 변화에 대한 거동을 고찰하였다^{1~4)}. 이들 모델에 대한 특성은 Table 4와 같다.

Table 4 Property of structural analysis models

Model number	Width (m)	Length (m)	Height (m)	Middle member	Loading condition
A-1	0.5	1.2	2.7	Existence	Point load
A-2	0.5	1.2	2.7	None	Point load
A-3	1.2	1.2	3.6	Existence	Point load
A-4	1.2	1.2	7.2	Existence	Point load
A-5	1.2	1.2	10.8	Existence	Point load
B-1	0.5	1.2	2.7	Existence	Span load
B-2	0.5	1.2	2.7	None	Span load
B-3	1.2	1.2	3.6	Existence	Span load
B-4	1.2	1.2	7.2	Existence	Span load
B-5	1.2	1.2	10.8	Existence	Span load

구조해석시 각 모델들에 대한 하중경우는 하중을 0.5ton부터 7.5ton까지 0.5ton씩 모두 15개로 하

였으며, 각 모델들에 대한 하중경우별 단면력을 주요 축점에 대하여 비교 고찰하였다.

3.2 실험결과와 구조해석 결과의 비교

시험체 A-1, B-1, A-2, B-2의 재하실험을 통한 실험결과와 모델 A-1, B-1, A-2, B-2의 구조해석에 의해 계산되어진 값을 비교 검토하여 주요 축점의 변형률에 대한 합성작용계수(C. A. F)를 구하였으며, 이들 값들의 비교결과로부터 가설 비계의 거동을 고찰하였다. 변형률에 대한 합성작용계수는 다음식에 의해 계산하였다.

$$C. A. F = 1 - \frac{\epsilon_M}{\epsilon_C}$$

여기서 ϵ_M 는 실험에 의한 정적 측정 변형률, ϵ_C 는 구조해석에 의한 정적 계산 변형률이다.

실험결과와 구조해석 결과의 비교 결과인 시험체 A-1, B-1, A-2, B-2와 모델 A-1, B-1, A-2, B-2에 대한 하중단계별 변형률 값들과 합성작용계수를 정리하여 각각 Table 5, 6, 7, 8에 나타내었다.

Tables 5, 6, 7, 8의 하중변화에 대한 계산치와 실측치의 비교결과에서 시험체 A-1의 주요 하중부담 부재인 축부재(축점 1, 2, 3, 4)의 합성작용계수는 하중이 증가함에 따라 감소하는 경향을 나타내었으며, 약 0.3~0.7의 안정된 값을 갖고 있었다. 시험체 A-2는 하중을 받는 시험체 상단의 축부재(축점 1)에서 0.4이하의 합성작용계수를 나타내고 있었으며, 하중이 극한하중인 7.5ton에 가까워짐에 따라 0에 가까운 합성작용계수를 나타냄으로서 실측치와 계산치가 일치함을 알 수 있다. 또 구조물의 가운데 축부재(축점 3)에서는 하중재하 초기단계에서 계산치보다 실측치가 크게 나타났지만, 시험체 상단의 축부재(축점 1)와 마찬가지로 하중이 극한하중에 가까워짐에 따라 실측치와 계산치가 거의 일치하는 양상을 나타냈다. 부재하중을 받는 시험체인 시험체 B-1과 B-2는 구조물의 다른 부재에 비하여 직접 하중이 재하되는 상단의 수평부재(축점 5)가 가장 큰 변형률을 나타내고 있었으며, 이 수평부재는 극한하중에 가까운 1.0ton의 하중에서 각각 0.25, 0.05의 합성작용계수를 나타냄으로써 극한하중에 가까워 질수록 실측치와 계산치가 일치함을 알 수 있었다.

Table 5 Comparison between experimental result and analysis result(A-1)

(Unit : $\times 10^{-6}$)

Load	Strain and C.A.F				
	Point number	1	2	3	4
0.5ton	Analysis value	-84.9	-82.2	-81.87	-97.33
	Measurement value	0	0	0	-4
	C. A. F	0.000	0.000	0	0.959
1.0ton	Analysis value	-169.6	-162.27	-159.87	-188.04
	Measurement value	0	-28	-15	-45
	C. A. F	0.000	0.827	0.926	0.761
1.5ton	Analysis value	-254.4	-243.41	-239.81	-282.07
	Measurement value	-6	-70	-40	-95
	C. A. F	0.976	0.712	0.833	0.663
2.0ton	Analysis value	-339.24	-324.54	-319.73	-376.09
	Measurement value	-12	-108	-71	-151
	C. A. F	0.964	0.667	0.778	0.599
2.5ton	Analysis value	-424.04	-405.67	-339.68	-470.11
	Measurement value	-38	-151	-101	-213
	C. A. F	0.910	0.628	0.703	0.547
3.0ton	Analysis value	-508.84	-486.81	-479.61	-564.13
	Measurement value	-86	-197	-136	-284
	C. A. F	0.831	0.595	0.716	0.496
3.5ton	Analysis value	-593.67	-567.94	-624.01	-658.16
	Measurement value	-140	-254	-162	-334
	C. A. F	0.764	0.553	0.740	0.493
4.0ton	Analysis value	-678.49	-649.08	-639.48	-752.18
	Measurement value	-200	-319	-197	-379
	C. A. F	0.705	0.509	0.692	0.496
4.5ton	Analysis value	-763.27	-730.22	-719.41	-846.2
	Measurement value	-263	-387	-227	-435
	C. A. F	0.655	0.470	0.684	0.486
5.0ton	Analysis value	-848.09	-813.56	-799.34	-940.22
	Measurement value	-318	-447	-263	-481
	C. A. F	0.625	0.451	0.671	0.488
5.5ton	Analysis value	-932.91	-892.49	-879.28	-1034.24
	Measurement value	-373	-502	-289	-541
	C. A. F	0.600	0.437	0.671	0.477
6.0ton	Analysis value	-1017.69	-974.13	-959.21	-1128.27
	Measurement value	-440	-567	-314	-607
	C. A. F	0.568	0.418	0.673	0.462
6.5ton	Analysis value	-1102.5	-1054.77	-1039.16	-1222.27
	Measurement value	-514	-629	-344	-628
	C. A. F	0.534	0.404	0.669	0.486
7.0ton	Analysis value	-1187.33	-1135.89	-1119.1	-1316.29
	Measurement value	-599	-686	-354	-759
	C. A. F	0.496	0.396	0.684	0.423
7.5ton	Analysis value	-1272.13	-1217.02	-1119.1	-1410.31
	Measurement value	-699	-749	-384	-845
	C. A. F	0.451	0.384	0.680	0.400

Table 6 Comparison between experimental result and analysis result(A-2)

(Unit : $\times 10^{-6}$)

Load	Strain and C.A.F				
	Point number	1	2	3	4
0.5ton	Analysis value	-84.91	-83.59	1.058	1.32
	Measurement value	-75	-176	4	-6580
	C. A. F	0.117	-1.105	-1.652	4985.8
1.0ton	Analysis value	-169.62	-164.34	1.97	2.6
	Measurement value	-128	-279	4	-27230
	C. A. F	0.245	-0.698	-1.030	10474
1.5ton	Analysis value	-254.42	-246.51	2.96	3.91
	Measurement value	-169	-355	4	-10497
	C. A. F	0.335	-0.440	-0.351	2685.5
2.0ton	Analysis value	-339.61	-328.68	3.94	5.22
	Measurement value	-221	-435	4	-8487
	C. A. F	0.349	-0.323	-0.015	1626.8
2.5ton	Analysis value	-424.04	-410.86	4.93	6.55
	Measurement value	-281	-504	0	7881
	C. A. F	0.337	-0.227	0	-1211.46
3.0ton	Analysis value	-507.31	-493.02	5.91	7.8
	Measurement value	-345	-579	4	91119
	C. A. F	0.320	-0.174	0.323	-11180.9
3.5ton	Analysis value	-593.67	-575.19	6.9	8.47
	Measurement value	-417	-649	4	4810
	C. A. F	0.298	-0.128	0.420	-560.89
4.0ton	Analysis value	-678.47	-657.37	7.88	10.4
	Measurement value	-488	-717	4	9498
	C. A. F	0.281	-0.091	0.492	-912.2
4.5ton	Analysis value	-763.27	-739.54	8.88	11.72
	Measurement value	-564	-785	4	259052
	C. A. F	0.261	-0.061	0.549	-22102.4
5.0ton	Analysis value	-848.09	-821.7	9.86	13.02
	Measurement value	-644	-850	0	401324
	C. A. F	0.241	-0.034	0	-30822.6
5.5ton	Analysis value	-932.91	-903.87	10.84	14.32
	Measurement value	-729	-910	9	48828
	C. A. F	0.219	-0.007	0.169	-3408.77
6.0ton	Analysis value	-1017.71	-986.04	11.38	15.62
	Measurement value	-824	-961	0	
	C. A. F	0.190	0.025	0	0
6.5ton	Analysis value	-1102.5	-1068.22	12.81	17.62
	Measurement value	-930	-990	4	
	C. A. F	0.156	0.073	0.688	0
7.0ton	Analysis value	-1187.33	-1150.38	13.8	18.21
	Measurement value	-1069	-1058	14	
	C. A. F	0.099	0.080	-0.014	0
7.5ton	Analysis value	-1272.13	-1230.56	14.78	19.52
	Measurement value	-1234	-1216	25	
	C. A. F	0.056	0.012	-0.69	0

Table 7 Comparison between experimental result and analysis result(B-1)

(Unit : $\times 10^{-6}$)

Load	Strain and C. A. F			
	Point number	3	4	5
0.5ton	Analysis value	-43.14	-46.96	1553.0
	Measurement value	-35	-15	146
	C. A. F	0.188	0.681	0.906
1.0ton	Analysis value	-82.34	-87.58	3099.5
	Measurement value	45	-106	2322
	C. A. F	0.453	-0.210	0.251

Table 8 Comparison between experimental result and analysis result(B-2)

(Unit : $\times 10^{-6}$)

Load	Strain and C. A. F			
	Point number	3	4	5
0.5ton	Analysis value	-43.79	-46.4	1731.0
	Measurement value	100	-40	466
	C. A. F	3.283	0.138	0.731
1.0ton	Analysis value	-84.69	-87.27	3453.1
	Measurement value	366	-136	3643
	C. A. F	-3.32	-0.558	0.052

3.3 허용하중

앞의 실험에 의한 실측치와 구조해석에 의한 계산치에 대한 비교 결과에서 하중이 극한하중에 가까와 질수록 본 연구에서 수행된 구조해석 결과가 실험에 의해 측정된 실측치와 잘 일치하고 있음을 알 수 있었다. 따라서 본 연구에서는 구조해석 결과를 이용하여 구조해석을 실시한 각 모델들에 대해 허용하중을 결정하였다. 구조해석 결과에서 취합된 각 부재의 축력과 휨모멘트를 이용하여 부재에 작용되는 응력을 각 하중상태에서 계산하였으며 이들 결과들에 의해 허용응력에서의 하중값이 허용하중을 각각 유추하였다. 본 연구에서는 강판의 허용응력을 2000kg/cm^2 으로 보았으며, 각 모델들에 대한 허용하중은 Table 9에 나타내었다.

Table 9의 각 모델들에 대한 허용하중의 고찰에서 절점하중을 받는 모델인 모델 A-3, A-4, A-5의 허용하중은 약 3.4ton이었으며, 부재하중을 받는 모델인 모델 B-3, B-4, B-5의 허용하중은 약 0.3ton이었다. 이들 결과에서 가설 비계의 허용하중은 높이의 변화에 따라 큰 변화가 없는 것으로 나타났다으며, 이는 가설 비계에서 90cm 간격으로 설

치된 수평부재가 좌굴을 방지해 주기 때문에 사료된다.

Table 9 Allowable load

Model number	Allowable load (kg)	Loading condition	Structural layer (Height)
A-3	3406.7	Point load	1 layer (h= 3.6m)
A-4	3406.2	Point load	2 layer (h= 7.2m)
A-5	3405.9	Point load	3 layer (h=10.8m)
B-3	306.7	Span load	1 layer (h= 3.6m)
B-4	306.5	Span load	2 layer (h= 7.2m)
B-5	306.6	Span load	3 layer (h=10.8m)

3.4 수직하중과 수평하중의 관계

한편 본 연구에서는 가설 비계에 수직하중과 수평하중이 동시에 작용할 때의 거동을 살펴 보았다. 구조해석 모델은 모델 A-3과 동일하며, 하중을 비계 상단의 절점에 수직, 수평하게 작용시켜 여러가지 하중경우에 대한 구조해석을 실시하였다. 이들 결과를 이용하여 가설 비계의 취약 부재가 허용응력에 도달할 때의 수직하중과 수평하중의 관계를 Fig. 5에 나타내었다.

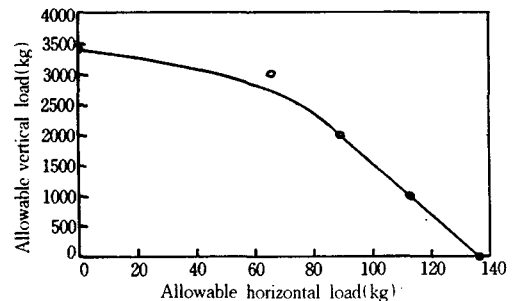


Fig. 5 Relationships between allowable vertical load and horizontal load

Fig. 5에서 알 수 있듯이 수직하중과 수평하중을 동시에 받는 가설 비계의 허용응력시의 수직하중은 수평하중이 약 60kg이상인 경우 수평하중이 커짐에 따라 선형에 가깝게 감소함을 알 수 있다.

3.5 수평 부재 길이와 부재하중의 관계

본 연구에서는 가설 비계의 수평 부재의 길이에 대한 허용 하중의 크기의 변화를 알아 보기 위하여

모델링 B-3의 길이 방향의 부재 크기를 변화시켜 구조해석을 실시하였으며, 이들 결과에서 강관 비계가 부재하중을 받을 때의 수평 부재의 길이와 허용 수직하중의 관계를 Fig. 6에 나타내었다.

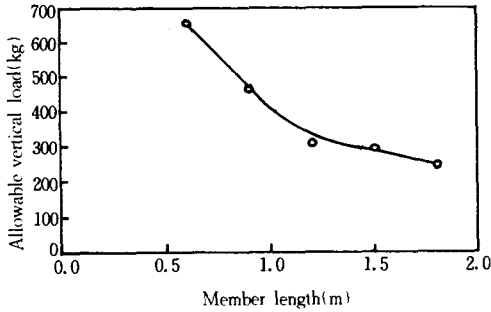


Fig. 6 Relationships between member length and allowable vertical load

Fig. 6에서 알 수 있듯이 부재하중을 받는 가설 비계의 허용용력시의 수직하중은 부재 길이가 약 1.0m보다 클 경우 매우 낮은 값들을 가짐을 알 수 있다.

4. 결 론

건설 현장에서 사용되고 있는 가설 비계의 작업의 효율성을 높이고 안전성을 도모하기 위해 가설 비계에 대해 재하실험 및 구조해석을 실시한 결과 다음과 같은 결론에 도달하였다.

- 1) 가설 비계의 중간 수평부재가 생략된 시험체는 정상적인 가설 비계에 비하여 절점하중 재하시

에는 극한하중이 1.6% 감소된 반면, 부재하중 재하시에는 극한하중이 14.6% 감소됨으로써 가설 비계에서의 중간 수평부재의 역할이 큼을 알 수 있었다.

- 2) 가설 비계를 2단 또는 3단으로 쌓는 경우, 수평 부재를 배치 한다면 수평부재에 의해 좌굴현상이 제어되므로 허용하중은 1단의 경우와 크게 차이가 없었으나, 가설물의 안전을 위해 시공시 조인트 부분의 연결과 높이 방향의 조립이 완전하도록 만전을 기해야 한다.
- 3) 가설 비계에 수직하중과 수평하중이 동시에 작용할 경우, 허용용력시의 수직하중은 수평하중이 커짐에 따라 선형에 가깝게 감소함을 알 수 있었다.

참 고 문 헌

- 1) B. G. Johnston, F. J. Lin, T. V. Galambos, "Basic Steel Design," Prentice-Hall Series in Civil Engr. and Engr. Mechanics, pp. 234-269, 1980
- 2) C. G. Salmon, J. E. Johnson, "Steel Structures Design and Behavior," Harper and Row, Publishers, pp. 251-296, 1980
- 3) American Institute of Steel Construction, "Manual of Steel Construction," pp. 3-33-3-45, 1980
- 4) F. W. Beaufait, W. H. Rowan, P. G. Hoadley, R. M. Hackett, "Computer Methods of Structural Analysis," Prentice-Hall INC., pp. 296-341, 1970