

# 구조해석에 의한 파이프서포트의 내력비교에 관한 연구

백신원<sup>†</sup> · 박종근<sup>\*</sup>

한경대학교 안전공학과 · <sup>\*</sup>벽성대학 건설안전과  
(2008. 5. 13. 접수 / 2008. 7. 21. 채택)

## A Study on the Strength Comparison of Steel Pipe Support using the Structural Analysis Program

Shinwon Paik<sup>†</sup> · Jongkeun Park<sup>\*</sup>

Department of Safety Engineering, Hankyong National University

<sup>\*</sup>Department of Construction, Byuksung College

(Received May 13, 2008 / Accepted July 21, 2008)

**Abstract** : Formwork is a temporary structure that supports its weight and that of fresh concrete as well as construction live loads. Slab formwork consists of sheathing, stringer, hanger and shore. In construction site, pipe supports are usually used as shores which are consisted of the slab formwork. In this study, compressive strength of 80 pipe supports was measured by knife edge test and plate test. Buckling load of pipe supports was analyzed by structural analysis program(MIDAS). Theoretical buckling load with/without initial deformation was got by theoretical analysis. According to these results, buckling load which was analyzed by structural analysis program(MIDAS) was larger than compressive strength of knife edge test and plate test. Theoretical buckling load without initial deformation was larger than compressive strength of knife edge test and plate test. But Theoretical buckling load with initial deformation was lower than compressive strength of knife edge test and plate test. Initial deformation equation for test method according to the pipe support length was suggested. Therefore, the present study results will be used to design the slab formwork safely.

**Key Words** : temporary structure, slab formwork, pipe support, knife edge test, plate test

### 1. 서론

콘크리트가 발명되어 건축물에 사용되면서 자유로운 건축이 가능하게 되었는데, 이때 거푸집공사는 거의 대부분의 건설공사에 있어서 필수 불가결한 요소가 되기 때문에 콘크리트 구조물을 축조하기 위해서는 거푸집공사(Formwork)가 건설공사에서 빼놓을 수 없는 중요한 부분이 된다<sup>1)</sup>.

거푸집(Form)은 콘크리트 구조물을 만들기 위해 사용되는 유동성이 있는 굳지 않은 콘크리트가 일정기간동안 굳으면서 강도를 발현하여 자립할 시기 까지 지지하여 주는 가설구조물(Temporary structures)로서, 콘크리트 구조물의 일정한 형상과 치수를 유지시켜줄 뿐만 아니라, 콘크리트수화에 필요한 수분의 누출을 줄여주고 외기의 영향을 차단하여 콘

크리트가 적절하게 양생 되도록 하는 등의 역할도 한다<sup>1)</sup>.

콘크리트 거푸집공사중 슬래브 및 보공사에 주로 시공되는 가설구조물인 거푸집동바리 구조물은 거푸집널, 장선, 띠장, 동바리로 구성되는데, 콘크리트 타설중에 붕괴되어 큰 인명피해와 경제적 손실을 초래하곤 하기 때문에 콘크리트공사에서 거푸집동바리공사가 매우 중요한 가설공사로 여겨지고 있다<sup>2)</sup>.

일반적으로 동바리는 거푸집판, 장선, 띠장재를 소정의 위치에 유지시키고, 수평부재가 받는 수직 및 수평하중을 하부에 전달하는 수직부재를 말한다. 이러한 동바리로 강관지주, 스틸서포트, 샷보드, 강제동바리, 철서포트 등으로 불리는 파이프서포트(Pipe support)가 주로 사용되고 있으며, 일반적으로 외관, 내관, 받이판, 바닥판, 암나사, 슛나사, 지지핀으로 구성되어 있다. 또한 파이프서포트는 노

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

동부 산업안전보건법에 근거를 둔 ‘가설기자재 성능 검정규격’ 품목으로 V-1, V-2, V-3, V-4 4종류에 대한 한국산업안전공단에서 성능검정을 해 주고 있다<sup>3,6)</sup>.

한편, 거푸집동바리 구조에서 가장 중요한 부재 중 하나인 파이프로포트도 가설재의 일부로 여겨져 이에 대한 연구가 미진한 실정이다<sup>3,6)</sup>.

따라서 본 연구에서는 파이프로포트에 대한 내력을 측정하고 구조해석과 좌굴이론 및 힘이론을 적용하여 내력을 비교함으로써 내력예측식을 제안 하는데 그 목적이 있다.

## 2. 이론적 해석

### 2.1. 양단 단순지지 좌굴하중<sup>7)</sup>

Fig. 1에서 보는 바와 같이 양단이 단순지지된 파이프로포트의 내관과 외관의 단면2차모멘트를 각각  $I_1, I_2$ , 길이를 각각  $l_1, l_2$ , 전체의 길이를  $l$ 이라 하면 좌굴에 의하여 변형된 형상은  $y = \delta \sin \frac{\pi x}{l}$  과 같은 sin함수이고 모멘트는  $M = P_{cr} y = P_{cr} \delta \sin \frac{\pi x}{l}$  이므로, 변형에 의하여 내부에 축적된 에너지는  $\Delta U$ 는 다음 식 (1)과 같다.

$$\begin{aligned} \Delta U &= \int_0^{l_1} \frac{M^2}{2EI_1} dx + \int_0^{l_2} \frac{M^2}{2EI_2} dx \\ &= \frac{P_{cr}^2 \delta^2}{2EI_1} \int_0^{l_1} \sin^2 \frac{\pi x}{l} dx + \frac{P_{cr}^2 \delta^2}{2EI_2} \int_0^{l_2} \sin^2 \frac{\pi x}{l} dx \\ &= \frac{P_{cr}^2 \delta^2}{4EI_1} \left( l_1 - \frac{l}{2\pi} \sin \frac{2\pi l_1}{l} \right) + \frac{P_{cr}^2 \delta^2}{4EI_2} \left( l_2 - \frac{l}{2\pi} \sin \frac{2\pi l_2}{l} \right) \\ &= \frac{P_{cr}^2 \delta^2}{4EI_2} \left[ l_2 + \frac{I_2}{I_1} l_1 - \frac{l}{2\pi} \left( \sin \frac{2\pi l_2}{l} + \frac{I_2}{I_1} \sin \frac{2\pi l_1}{l} \right) \right] \quad (1) \end{aligned}$$

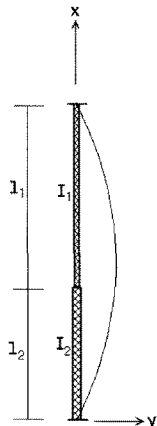


Fig. 1. Buckling shape of pipe support with simple supports.

또한 외력에 의한 외부 일  $\Delta T$ 는 다음 식 (2)와 같다.

$$\begin{aligned} \Delta T &= \frac{P_{cr}}{2} \int_0^l \left( \frac{dy}{dx} \right)^2 dx \\ &= \frac{P_{cr} \delta^2}{2} \int_0^l \left( \frac{\pi}{l} \cos \frac{\pi x}{l} \right)^2 dx \\ &= \frac{P_{cr} \pi^2 \delta^2}{2l^2} \int_0^l \cos^2 \frac{\pi x}{l} dx \\ &= \frac{P_{cr} \pi^2 \delta^2}{4l} \quad (2) \end{aligned}$$

따라서 외력과 내력에너지의 크기가 같은 것으로부터 좌굴하중의 값  $P_{cr}$ 은 다음 식 (3)과 같다.

$$P_{cr} = \frac{P_e}{A^*} \quad (3)$$

여기서,  $P_e = \frac{\pi^2 EI_2}{l^2}$

$$A^* = \frac{l_2}{l} + \frac{I_2}{I_1} \frac{l_1}{l} - \frac{1}{2\pi} \left( \sin \frac{2\pi l_2}{l} + \frac{I_2}{I_1} \sin \frac{2\pi l_1}{l} \right)$$

### 2.2. 초기변위를 갖는 양단 단순지지 좌굴하중<sup>7)</sup>

Fig. 2에서 보는 바와 같이 초기변위  $\delta_0$ 를 갖는 양단이 단순지지된 파이프로포트의 변형된 형상은 모멘트의 증가로 인한 변위  $y_m$ 을 고려하면  $y = (y_m + \delta_0) \sin \frac{\pi x}{l}$  과 같은 sin함수이고 모멘트는  $M = P y = P (y_m + \delta_0) \sin \frac{\pi x}{l}$  이 된다.

Fig. 2에서 단위강성에 의한 모멘트분적  $P_1, P_2$ 는 각각 식 (4)와 (5)가 된다.

$$\begin{aligned} P_1 &= \int_0^{l_1} \frac{P}{EI_1} (y_m + \delta_0) \sin \frac{\pi x}{l} dx \\ &= \frac{P}{EI_1} (y_m + \delta_0) \frac{l}{\pi} \left( 1 - \cos \frac{\pi l_1}{l} \right) \quad (4) \end{aligned}$$

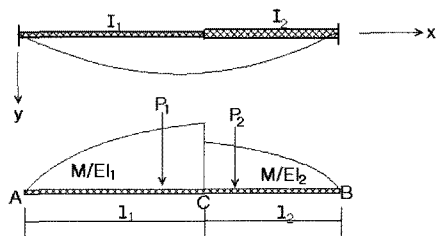


Fig. 2. Moment distribution of pipe support with initial deformation.

$$P_2 = \int_0^{l_2} \frac{P}{EI_2} (y_m + \delta_0) \sin \frac{\pi x}{l} dx$$

$$= \frac{P}{EI_2} (y_m + \delta_0) \frac{l}{\pi} (1 - \cos \frac{\pi l_2}{l}) \quad (5)$$

또한 단위강성에 의한 모멘트면적  $P_1$ 에 대한 단면 1차모멘트  $S_1$ 와 C점으로부터의  $P_1$ 의 중심거리  $x_1$ 은 각각 식 (6)과 (7)이 되고 마찬가지로 C점으로부터의  $P_2$ 의 중심거리  $x_2$ 는 식 (8)이 된다.

$$S_1 = \int_0^{l_1} \frac{P}{EI_1} (y_m + \delta_0) \sin \frac{\pi x}{l} (l_1 - x) dx$$

$$= \frac{P}{EI_1} (y_m + \delta_0) \frac{l}{\pi} (l_1 - \frac{l}{\pi} \sin \frac{\pi l_1}{l}) \quad (6)$$

$$x_1 = \frac{S_1}{P_1} = \frac{l_1 - \frac{l}{\pi} \sin \frac{\pi l_1}{l}}{1 - \cos \frac{\pi l_1}{l}} \quad (7)$$

$$x_2 = \frac{S_2}{P_2} = \frac{l_2 - \frac{l}{\pi} \sin \frac{\pi l_2}{l}}{1 - \cos \frac{\pi l_2}{l}} \quad (8)$$

A점의 회전각  $\theta_A$ 와  $0 \leq x \leq l_1$ 에서 초기변위로 인한 모멘트 증가에 의한 추가처짐  $y_m$ 은 각각 식 (9)와 (10)과 같다.

$$\theta_A = \frac{P_1(l_2 + x_1) + P_2(l_2 - x_2)}{l}$$

$$= \frac{P}{\pi EI_2} (y_m + \delta_0) \left[ \frac{l_2}{l} (l - l_2 \cos \frac{\pi l_1}{l} - \frac{l}{\pi} \sin \frac{\pi l_1}{l}) - l_2 \cos \frac{\pi l_2}{l} + \frac{l}{\pi} \sin \frac{\pi l_2}{l} \right] \quad (9)$$

$$y_m = \theta_A x - S_x$$

$$= \frac{P l^2}{\pi^2 EI_2} (y_m + \delta_0) \left[ \frac{l_2}{l} \left( \sin \frac{\pi x}{l} - \frac{\pi l_2}{l} \frac{x}{l} \cos \frac{\pi l_1}{l} - \frac{x}{l} \sin \frac{\pi l_1}{l} \right) - \frac{\pi l_2}{l} \frac{x}{l} \cos \frac{\pi l_2}{l} + \frac{x}{l} \sin \frac{\pi l_2}{l} \right] \quad (10)$$

식 (10)을 초기변위로 인한 모멘트 증가에 의한 추가처짐  $y_m$ 에 대해 정리하면 식 (11)과 같고, 이때 최대모멘트는 식 (12)와 같다.

$$y_m = \frac{\delta_0 \alpha^*}{1 - \alpha^*} \quad (11)$$

$$\text{여기서, } \alpha^* = \frac{P}{P_c^*}, P_c^* = \frac{P_c}{C^*}, P_c = \frac{\pi^2 EI_2}{l^2}$$

$$C^* = \frac{l_2}{l_1} \left( \sin \frac{\pi x}{l} - \frac{\pi l_2}{l} \frac{x}{l} \cos \frac{\pi l_1}{l} - \frac{x}{l} \sin \frac{\pi l_1}{l} \right) - \frac{\pi l_2}{l} \frac{x}{l} \cos \frac{\pi l_2}{l} + \frac{x}{l} \sin \frac{\pi l_2}{l}$$

$$M = Py = P(y_m + \delta_0) = \frac{P \delta_0}{1 - \alpha^*} \quad (12)$$

따라서, 축하중과 모멘트를 동시에 받는 경우에 다음 식 (13)을 만족시켜야 하고 이 식으로부터 초기변위를 고려한 좌굴하중  $P$ 를 구할 수 있다.

$$\frac{P}{P_{cr}} + \frac{P \delta_0}{M_n} \frac{1}{1 - \alpha^*} = 1 \quad (13)$$

### 3. 실험방법

파이프서포트는 거푸집동바리 가설구조물에 주요 부재로서 그 내력이 거푸집동바리 가설구조물의 안정성에 크게 영향을 미치고 있으며, 이러한 파이프서포트의 내력산정 및 설계미숙으로 인하여 종종 콘크리트타설중에 붕괴되는 경우도 있다.<sup>8)</sup>

따라서, 본 연구에서는 파이프서포트에 대한 내력을 측정하고 이론식 및 구조해석프로그램을 이용하여 얻어진 좌굴하중결과를 비교함으로써 파이프서포트의 내력산정에 도움을 주고자 하는데 그 목적이 있기 때문에 한국산업안전공단 성능검정규제품인 V-1, V-2, V-3, V-4 파이프서포트중 V-4 파이프서포트를 K공업(주)에서 80본을 구매하여 길이 3.5m 및 4.0m 나이프에지시험과 길이 3.5m 및 4.0m 평압시험을 각각 20본씩 내력을 측정하였다. 또한 MIDAS 구조해석프로그램을 이용하여 구조해석을 수행하였다. 이때 V-4 파이프서포트를 선정하여 내력을 측정할 이유는 건설현장에서 사용되는 검정파이프서포트중 층고가 가장 높은 곳에 사용되는 파이프서포트이기 때문이다.<sup>9)</sup>

### 4. 실험결과 및 분석

본 연구에서는 V-4 파이프서포트에 대하여 길이를 3.5m 및 4.0m로 하여 일반적인 내력시험방법인 나이프에지시험 및 평압시험 두 종류로 나누어 내력을 측정하였다. 또한 MIDAS 구조해석 프로그램을 이용하여 초기변위가 없는 좌굴해석을 수행하여

그 좌굴하중값을 얻을 수 있었고 또한 제2장에서 유도한 이론식을 이용하여 그 좌굴하중값도 얻을 수 있었는데 이에 대한 값은 Table 1과 같다.

이때 초기변위값은 파이프서포트가 내관과 외관으로 구성되어 있고 횡방향으로 최대진폭만큼 이동할 수 있어 최대진폭의 1/2값으로 고려할 수 있다. 따라서 초기변위값은 KS F 8001에 규정된 V-4의 최대길이 4.2m에서 측정된 최대진폭값이 65.7mm 이므로 길이가 3.5m인 경우에는 최대진폭값의 1/2인 27.3mm를 적용하였고, 길이가 4.0m인 경우에는 31.3mm를 적용하였으며, 파이프서포트규격은 KS F 8001에서 규정된 내관은  $\phi 48.6 \times 2.5\text{mm}$  외관은  $\phi 60.5 \times 2.3\text{mm}$ 를 적용하였고, 내관의 항복강도는 KS D 3566에서 규정된  $355\text{N/mm}^2$ 을 적용하였다<sup>9,10</sup>.

Fig. 3과 Fig. 4에서 보는 바와 같이 MIDAS 구조해석프로그램에 의해 얻어지는 좌굴하중값은 측정값보다 큰 값을 보였는데, 이는 실제 파이프서포트가 내관과 외관으로 구성되어 진폭을 가지고 있기 때문인 것으로 사료되며, 제2장에서 유도한 초기변형을 고려하지 않은 이론의 좌굴값은 측정값보다 매우 큰 값을 보였고, 초기변형을 고려한 이론의 좌굴값은 측정값보다 작은 값을 보였는데, 이는

Table 1. Strength

Type of test	Length (m)	Test strength (kN)	Buckling load without initial deformation (MIDAS program) (kN)	Buckling load without initial deformation (theoretical) (kN)	Buckling load with initial deformation (theoretical) (kN)
Knife edge test	3.5	14.79	16.86	19.18	9.82
	4.0	9.96	12.33	13.94	7.27
Plate test	3.5	42.66	68.91	76.71	23.11
	4.0	27.32	51.81	55.75	18.00

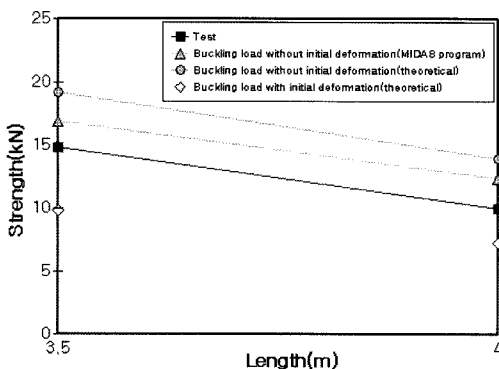


Fig. 3. Strength according to pipesupport length(Knife edge test).

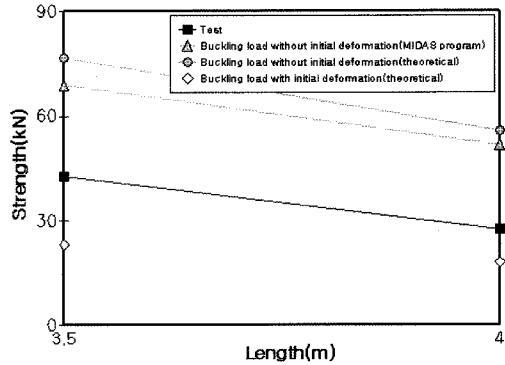


Fig. 4. Strength according to pipe support length(Plate test).

Table 2. Initial deformation equation

Type of test	Length (m)	Test strength (kN)	Initial deformation (mm)	Initial deformation equation (mm)
Knife edge test	3.5	14.79	1.76	$\delta_0 = 3.94l - 12.03$
	4.0	9.96	3.73	
Plate test	3.5	42.66	4.95	$\delta_0 = 9.98l - 29.98$
	4.0	27.32	9.94	

실제 파이프서포트의 초기변형이 측정된 진폭값보다 적을 것으로 사료되기 때문이다. 따라서, 파이프서포트의 내력은 초기변위를 고려할 수 없는 구조해석프로그램에 의해 구하는 것보다는 초기변위를 고려한 이론식으로 구하는 것이 타당할 것으로 사료된다.

Table 2는 각 측정방법에 대한 측정값을 식 (13)에 대입하여 구한 초기변위값과 파이프서포트의 길이 및 측정방법에 따른 초기변위식을 제한한 Table이다. 따라서 이 Table을 이용하면 V-4 파이프서포트의 다른 높이에 대한 내력을 정확하게 추정할 수 있어 현장에서 거푸집동바리 구조물 설계에 유용하게 이용할 수 있을 것으로 기대된다.

## 5. 결론

본 연구에서는 V-4 파이프서포트 80본에 대해 길이를 3.5m 및 4.0m로 하여 나이프에지시험 및 평압시험으로 내력을 측정하였으며, MIDAS 구조해석프로그램과 이론식으로 내력을 구하여 측정값과 비교하여 얻어진 결론은 다음과 같다.

- 1) 나이프에지시험의 경우 구조해석에 의해 구해진 값은 측정값보다 약 19% 정도 큰 값을 보였다.
- 2) 나이프에지시험의 경우 초기변위를 고려하지

않은 이론식에 의해 구해진 값은 측정값보다 약 35% 정도 큰 값을 보였다.

3) 나이프에지시험의 경우 초기변위를 고려한 이론식에 의해 구해진 값은 측정값보다 약 30% 정도 적은 값을 보였다.

4) 평압시험의 경우 구조해석에 의해 구해진 값은 측정값보다 약 76% 정도 큰 값을 보였다.

5) 평압시험의 경우 초기변위를 고려하지 않은 이론식에 의해 구해진 값은 측정값보다 약 92% 정도 큰 값을 보였다.

6) 평압시험의 경우 초기변위를 고려한 이론식에 의해 구해진 값은 측정값보다 약 40% 정도 적은 값을 보였다.

7) 나이프에지시험의 길이에 따른 초기변위식  $\delta_0 = 3.94l - 12.03$ 을 얻을 수 있었다.

8) 평압시험의 길이에 따른 초기변위식  $\delta_0 = 9.98l - 29.98$ 을 얻을 수 있었다.

이상의 연구결과를 통해 파이프서포트의 내력은 초기변위를 고려할 수 없는 구조해석프로그램에 의해 구하는 것보다는 초기변위를 고려한 이론식으로 구하는 것이 타당하며, 이 연구결과는 거푸집동바리 가설구조에서 동바리의 내력을 산정함에 있어 중요한 자료로 활용될 수 있을 것으로 사료된다.

**감사의 글 :** 본 연구는 2006년도 한경대학교 교비 해외파견 연구비의 지원에 의한 것으로 이에 감사드립니다.

## 참고문헌

- 1) Formwork for Concrete, M. K. Hurd, 1992.
- 2) 최순주, “거푸집·동바리 붕괴재해 사례분석을 통한 재해원인과 예방대책”, 한국콘크리트학회 제 19회 구술강좌, 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.
- 9) KS F 8001 파이프서포트, 1996.
- 10) KS D 3566 일반 구조용 탄소강관, 1996.