

시스템 동바리 구조 안전성에 대한 최소 수평하중의 영향

정대현 · 김경운* · 원정훈**

삼성물산 · *충북대학교 안전공학과

(2015. 8. 7. 접수 / 2015. 10. 9. 수정 / 2015. 10. 12. 채택)

Effects of Minimum Horizontal Load on Structural Safety of System Supports

Dae Hyun Chung · Gyeong Yun Kim* · Jeong-Hun Won**

Samsung C&T Corporation

*Department of Safety Engineering, Chungbuk National University

(Received August 7, 2015 / Revised October 9, 2015 / Accepted October 12, 2015)

Abstract : This study examined the effects of the minimum horizontal load on the structural behaviors and safety of system supports. The minimum horizontal load was frequently ignored in the design of system supports even though the level of that load was specified in the code and guide in Korea such as 'Standard Specification in Temporary Construction' and 'Guide to Installation of Shores for a Concrete Bridge'. To examine the effects of considering the minimum horizontal load, the finite element analysis were performed for various system supports. By varying installing parameters of system supports such as the vertical member spacing, the installation height, and the thickness of slab, the maximum combined stress ratios were estimated to investigate the structural safety of system supports. The results showed similar axial stress in vertical members but an increase in bending stress with a consideration of the horizontal load. The combines stress ratios are remarkably increased due to the consideration of the horizontal load. Consequently, the system supports, which were initially estimated to be safe when only the vertical loads were considered, were changed to be unsafe in most cases by the effects of the both the vertical and horizontal stresses. Therefore, the minimum horizontal load following the code and the guide is an essential load that could control the structural safety of system supports.

Key Words : minimum horizontal load, safety, system support, combined stress ratio

1. 서론

콘크리트 타설 하중을 지지하는 동바리 시스템은 건설공사에 있어서 필수적인 가설구조물이다. 다양한 동바리 시스템 중에서 설치가 간편하고 작용 하중을 안전하게 지지할 수 있는 시스템 동바리는 최근 사용이 지속적으로 증가되고 있으며, 정책적으로도 사용을 권장하고 있는 가설구조물이다.

구조물의 안전성 확보를 위해 다양한 설계기준 및 구조기준이 제시되어 있으며, 가설구조물에 대해서는 가설공사 표준시방서¹⁾에서 설계와 관련된 내용을 규정하고 있다. 그러나 시스템 동바리와 같은 가설 구조물의 경우 설치 후 철거까지 걸리는 시간이 영구 구조물에 비해 짧고, 구조설계에 대한 전문 지식을 갖고 있는

현장 관리자의 부족 등의 이유로 시방서에서 제시된 하중 중 반드시 고려될 하중이 누락되는 경우가 자주 발생되고 있다.

콘크리트 타설시 반드시 고려될 하중 중 자주 누락되는 하중으로 최소 수평하중이 있다. '가설공사표준시방서¹⁾'와 '콘크리트 교량 가설용 동바리 설치지침²⁾'에서는 콘크리트 타설 시 충격 또는 시공오차 등에 의한 영향을 반영하기 위해 최소 수평하중을 고려하도록 하고 있다. 적용되는 최소 수평하중은 고정하중의 2% 이상 또는 수평 길이 당 1.5 kN/m 이상 중에서 큰 값을 층 상단에 작용하도록 하고 있다. 그러므로 동바리 구조물의 수직재에는 자중과 같은 고정하중에 의한 압축력 이외에도 수평하중에 의한 휨모멘트가 동시에 발생되므로 수직재의 구조적 안전성은 압축력과 휨모멘트

* Corresponding Author : Jeong-Hun Won, Tel : +82-43-261-3694, E-mail : jhwon@chungbuk.ac.kr

Department of Safety Engineering, Chungbuk National University, 1, Chungdae-ro, Seowon-gu, Cheongju, Chungbuk 28644, Korea

를 받는 부재의 조합 응력비로 검토되어야 하며, 최소 수평하중의 영향으로 동바리 구조물의 구조 안전성도 변화될 수 있다.

따라서 본 논문은 다양한 매개변수 해석을 통해 시방서에서 규정한 최소 수평하중의 영향을 분석하고자 한다. 최소 수평하중의 영향을 분석하기 위해 현장에서 적용되는 다양한 제원의 시스템 동바리를 대상으로 고정하중만 적용된 경우와 고정하중과 최소 수평하중이 모두 고려된 경우의 최대 조합 응력비를 비교하여 대상 시스템 동바리의 구조 안전성의 변화를 평가하였다.

2. 구조물의 기하결함 모형화 방법

가설구조물인 시스템 동바리는 영구 강구조물에 비해 구조 해석에 대한 다양한 불확실성을 갖고 있다^{3,5)}. 연결부 강성, 하중 편심조건, 초기 형상의 기하학적 결함 등 다양한 불확실성은 가설구조물에 대한 정확한 거동 특성을 규명하기 어렵게 만드는 요소이다. 강 구조물의 P- Δ 효과와 P- δ 를 나타내는 초기 형상의 기하학적 결함(기하 비선형 문제)은 부재의 초기 직선성의 결함(initial member out-of-straightness imperfection 또는 initial member bow imperfection)과 층 이동 결함(initial story of out-of-plumb imperfection 또는 initial sway imperfection)으로 나타나며 형상은 Fig. 1과 같다⁶⁾.

초기 형상의 기하결함을 모형화하는 방법은 고유치 좌굴 모드 방법(Eigenbuckling mode approach, EBM), 수평하중 재하방법(Notional horizontal force approach, NHF), 그리고 초기 결함형상을 직접 모형화하는 방법(Initial geometric imperfection approach, IGI)이 있다⁶⁾. EBM 방법은 구조물의 탄성 상태의 고유치좌굴 해석을

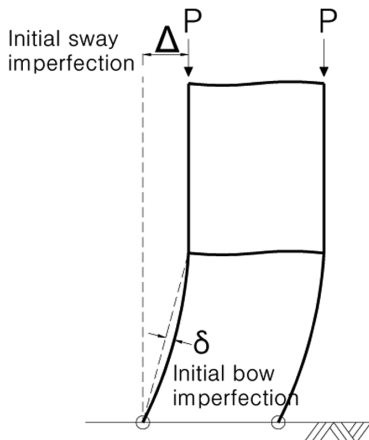


Fig. 1. Member and frame initial imperfection.

실시한 후 최저차 모드를 변형 전의 구조형상에 적용하는 방법이며, NHF 방법은 부가적인 수평하중을 수직재의 상단에 적용하여 간단히 기하 결함을 반영하는 방법이다. 적용하는 수평하중은 자중의 일정 비율로 일반적으로 정의되며, 연구자들마다 적용한 수평하중의 크기는 차이가 있다. 반면, IGI 방법은 기하 결함 상태를 반영하여 구조물을 직접적으로 모형화하는 방법이다. 국내에서는 규정된 크기의 수평하중을 층 상단에 적용하도록 하고 있으므로 NHF 방법을 적용하여 가설구조물의 기하결함 문제를 고려하는 것으로 볼 수 있다.

3. 대상 시스템 동바리 및 모형화

현장에서 적용되는 다양한 제원의 시스템 동바리를 분석하기 위해 시스템 동바리의 수직재 설치간격, 설치 높이, 슬래브 두께를 변수로 하여 다양한 시스템 동바리를 해석하였다. 대상 시스템 동바리의 해석 대상은 총 19가지 경우이며(Table 1), 수직재 간격은 0.9 m, 1.2 m, 1.5 m, 1.8 m로 가정하였다. ‘콘크리트 교량 가설용 동바리 설치지침²⁾’에서는 조립형 동바리의 수직재 간격을 0.9 m 이상 1.2 m 이하로 하도록 제한하고

Table 1. Considered case of system supports

No.	Case Name	Total Height	Vertical member interval	Slab thickness
1	C6-H09-T900	6 M	0.9 M	0.9 M
2	C6-H12-T900	6 M	1.2 M	0.9 M
3	C6-H15-T900	6 M	1.5 M	0.9 M
4	C6-H18-T900	6 M	1.8 M	0.9 M
5	C8-H09-T900	8 M	0.9 M	0.9 M
6	C8-H12-T900	8 M	1.2 M	0.9 M
7	C8-H15-T900	8 M	1.5 M	0.9 M
8	C8-H18-T900	8 M	1.8 M	0.9 M
9	C10-H09-T900	10 M	0.9 M	0.9 M
10	C10-H12-T900	10 M	1.2 M	0.9 M
11	C10-H15-T900	10 M	1.5 M	0.9 M
12	C10-H18-T900	10 M	1.8 M	0.9 M
13	C12-H09-T900	12 M	0.9 M	0.9 M
14	C12-H12-T900	12 M	1.2 M	0.9 M
15	C12-H15-T900	12 M	1.5 M	0.9 M
16	C12-H18-T900	12 M	1.8 M	0.9 M
17	C10-H18-T300	10 M	1.8 M	0.3 M
18	C10-H18-T500	10 M	1.8 M	0.5 M
19	C10-H18-T700	10 M	1.8 M	0.7 M

Table 2. Dimensions and materials of system support

Member	Dimension	Material
Vertical members 1	∅60.5 mm×3.2 mm	STK 400
Vertical members 2 (U-head, Jack base)	∅48.6 mm×6.0 mm	STK 400
Horizontal members	∅42.7 mm×2.3 mm	STK 400
Vertical bracing	∅42.7 mm×2.3 mm	STK 400

있으나, 본 연구에서는 일반적인 시스템 동바리의 수평재가 1.8 m까지 시중에서 사용되어 수직재 간격이 1.8 m까지 가능하므로 수직재 간격의 영향을 분석하기 위해 수직재 간격을 1.8 m까지 고려하였다. 또한, 고강도 강재의 적용으로 수직재 간격은 확장될 가능성도 고려하였다.

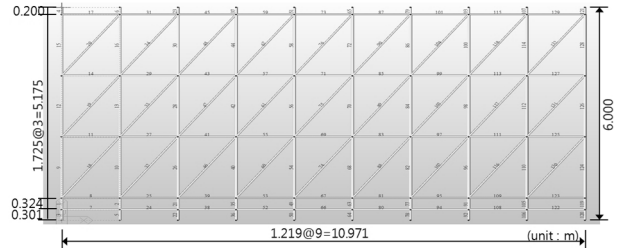
시스템 동바리 부재의 단면 제원과 강종은 Table 2와 같으며, 강재의 탄성계수는 205,000 MPa이다.

Table 1의 해석 대상의 명칭(Case name)에서 C뒤의 숫자는 시스템 동바리 전체 높이를, H뒤의 숫자는 수직재 간격을, T뒤의 숫자는 슬래브 두께를 나타낸다.

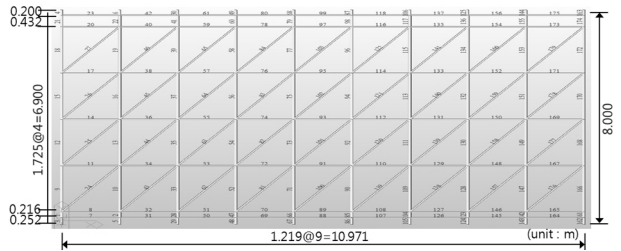
대상 시스템 동바리를 유한요소 해석 프로그램인 Midas Civil 2012+를 이용하여 모델링하였다. Fig. 2는 해석대상 시스템 동바리의 모델링 형상을 나타낸다. 대상 시스템 동바리 중에는 10 m가 넘는 것도 있으므로 정확한 거동 분석을 위해서는 3차원 모델링을 수행하여야 되나, 비교적 정확한 결과를 보이며 매개 변수 해석의 효율성을 위해 2차원 모델링을 본 논문에서 적용하였다. 향후 3차원 해석을 통해 면외 거동 등을 검토할 필요가 있다.

시스템 동바리의 거동 특성은 경계조건과 연결조건에 따라서도 달라지며, 정확한 거동을 분석하기 위해서는 경계조건은 강성을 갖는 회전 스프링과 병진 스프링으로 모형화 하여야 한다⁷⁻⁸⁾. 본 연구에서는 설계 조건에서의 수평하중에 의한 응력비 변화를 찾고자 하는 것이 목적이므로 시방서에서 제시하는 일반적인 조건인 힌지로 시스템 동바리 하단을 가정하였으며, 수직재와 수직재의 연결 조건은 연속재로, 수직재와 수평재의 연결 조건은 힌지로, 수직재와 경사재 및 수평재와 경사재의 연결 조건은 힌지로 가정하였다.

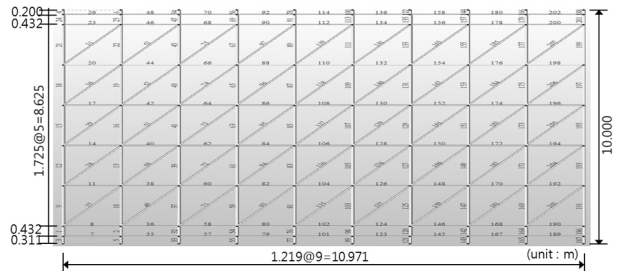
작용하는 하중으로는 수직하중(자중 등 고정하중, 거푸집 하중, 타설 활하중)과 최소 수평하중이 적용되었다. 콘크리트의 단위 중량은 24 kN/m³이며, 거푸집의 무게는 0.4 kN/m²을 적용하였으며, 콘크리트 타설시 활하중은 3.75 kN/m²이다. 최소 수평하중은 고정하중의 2% 이상 또는 수평 길이 당 1.5 kN/m 이상 중에서 큰 쪽의 하중이 층 상단에 작용하는 것으로 하였다.



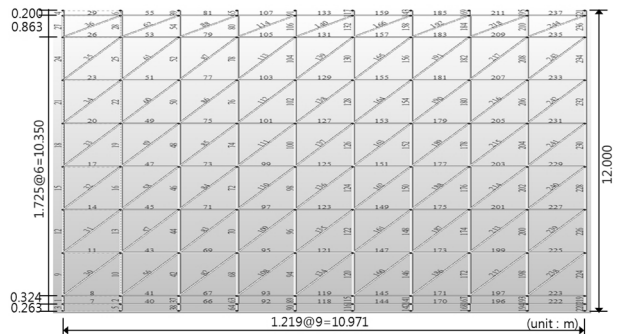
(a) Height 6m (C6-H12-T900)



(b) Height 8m (C8-H12-T900)



(c) Height 10m (C10-H12-T900)



(d) Height 12m (C12-H12-T900)

Fig. 2. Modelling configurations of system supports.

하중조합은 고정하중과 활하중이 조합된 경우(COM 1)와 고정하중, 활하중, 그리고 수평하중이 고려된 하중조합(COM 2)을 고려하였다.

4. 최소 수평하중 영향 분석

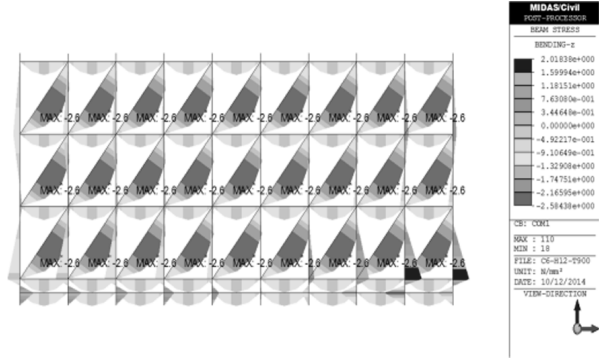
수평하중 고려 유무에 따른 시스템 동바리의 구조 안전성 변화를 분석하기 위해 먼저, 유한요소해석을

통해 축력과 휨모멘트를 산출하였다. 산출된 부재력을 이용하여 수직재에 발생하는 압축응력과 휨응력에 의한 조합 응력비를 식 (1)에 따라 산정해서 수평하중 고려에 따른 구조 안전성을 분석하였다.

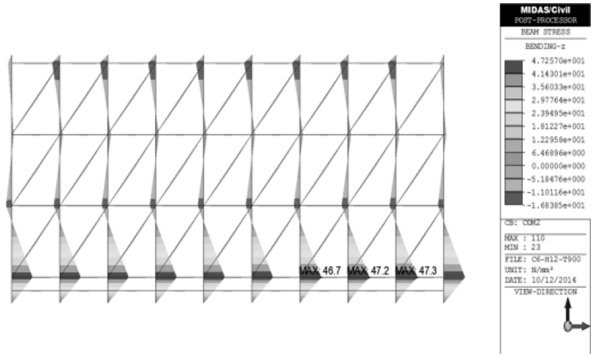
$$\frac{f_c}{f_{cz}} + \frac{f_{bcy}}{f_{bcy}\left(1 - \frac{f_c}{f_{E_y}}\right)} + \frac{f_{bcz}}{f_{bcz}\left(1 - \frac{f_c}{f_{E_z}}\right)} \leq 1 \quad (1)$$

여기서, f_c 는 축방향력에 의한 압축응력(MPa)이고 f_{bcy} , f_{bcz} 는 각각 강축(y축) 및 약축(z축) 둘레에 작용하는 휨 모멘트에 의한 휨 압축응력(MPa)이며 f_{cz} 는 국부좌굴 등을 반영한 약축 방향의 허용축방향 압축응력(MPa)이다. 또한, f_{bcyy} 는 국부좌굴을 고려하지 않은 강축(y축) 둘레의 허용 휨 압축응력(MPa)이고 f_{bczo} 는 국부좌굴을 고려하지 않은 허용 휨 압축응력의 상한값(MPa)이다. f_{E_y} , f_{E_z} 는 강축(y축) 및 약축(z축) 둘레의 허용 오일러 좌굴응력(MPa)이다.

대상 시스템 동바리 중 높이 6 m, 수직재 간격 1.2 m, 콘크리트 슬래브 두께 0.9 m인 경우(C6-H12-T900)에 발생하는 축응력도와 휨응력도를 Fig. 3과 Fig. 4에 나타내었다. COM 1(최소 수평하중을 고려하지 않은

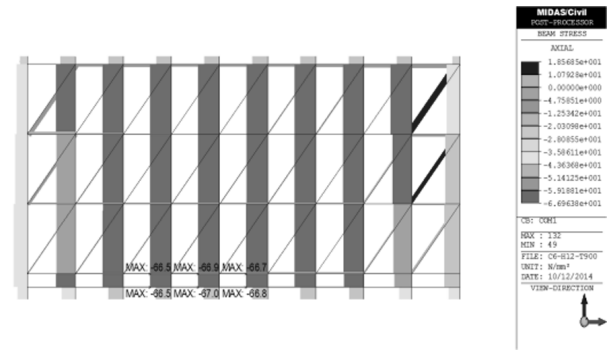


(a) Load Combination - COM 1

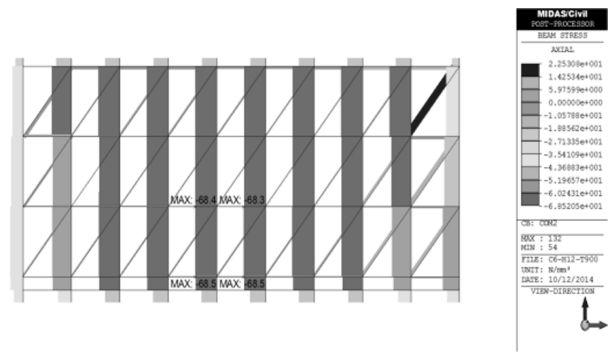


(b) Load Combination - COM 2

Fig. 4. Bending stress diagram of system support (C6-H12-T900).



(a) Load Combination - COM 1



(b) Load Combination - COM 2

Fig. 3. Axial stress diagram of system support(C6-H12-T900).

하중조합)과 COM 2(최소 수평하중을 고려한 하중조합)의 축응력도는 COM 2가 미소하게 크므로 최소 수평하중에 의한 축 응력 증가는 미비한 것으로 나타났다. 그러나 휨응력도에서는 COM 1과 COM 2의 휨 응력 차이는 크게 나타난다. 특히, COM 1에서는 수직재에 휨 응력이 거의 발생하지 않았으나, COM 2에서는 하단 수직재에 발생한 휨응력 수준이 무시할 수준이 아님을 확인할 수 있다.

C6-H12-T900의 모형의 각 수직재 위치(10개소)에 발생하는 최대 조합응력비를 산정하여 결과를 Fig. 5에 나타내었다. 최소 수평하중을 고려하지 않은 COM 1에서는 모든 수직재에서 허용 값인 1.0을 넘지 않았으나(허용 값의 80% 수준), 최소 수평하중을 고려한 COM 2에서는 최대 조합응력비가 1.7~1.9배 증가하여 첫 번째 수직재를 제외한 모든 위치에서 허용 값을 넘어서서 구조 안전성에 문제가 있는 것으로 나타났다.

수직재 간격이 0.9 m이고 콘크리트 슬래브 두께 0.9 m인 경우에 시스템 동바리 높이 변화와 최소 수평하중 고려 유무에 따른 조합응력비를 비교하여 Fig. 6에 나타내었다. 최소 수평하중을 고려하지 않은 경우(COM 1)에는 수직부재의 조합응력비가 0.5~0.6 수준이므로 구조 안전성이 확보되나, 최소 수평하중을 고려할 경

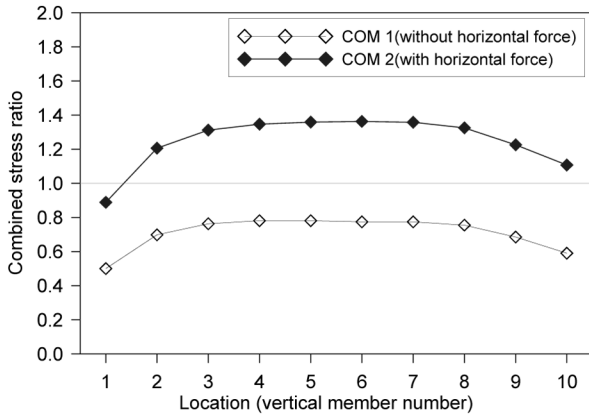


Fig. 5. Comparison of combined stress ratio(C6-H12-T900).

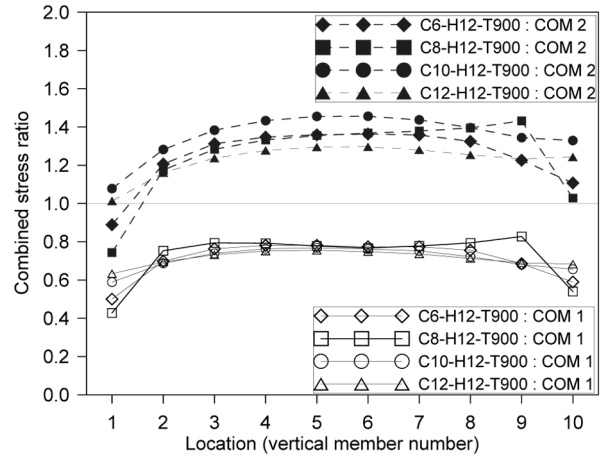


Fig. 7. Comparison results of combined stress ratio(Distance between vertical members = 1,2 m).

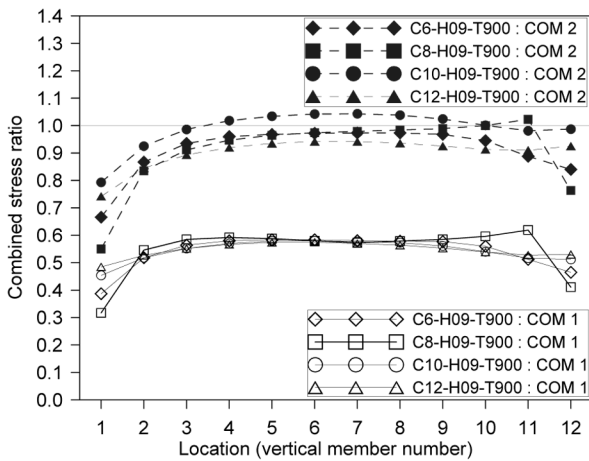


Fig. 6. Comparison results of combined stress ratio(Distance between vertical members = 0,9 m).

우(COM 2)에는 허용 값에 거의 근접해 있으며, 일부 경우에는 허용 값인 1.0을 상회하는 수준이 발생하는 것으로 나타났다.

수직하중만을 고려한 경우(COM 1), 높이의 증가에 따라 조합응력비의 변화는 최외측 수직재를 제외하고는 거의 없으나, 최소 수평하중을 고려한 경우(COM 2)에서는 높이의 증가에 따라 휨모멘트가 증가되어 조합응력비가 증가되는 경향을 나타냈다. 단, 12 m에 해당하는 경우에는 U헤드 바로 아래 수직재 부분에 브레이싱이 설치되어 수평하중이 시스템 내부로 균등하게 전달되어 최외측 부재를 제외하고는 조합응력비가 다른 높이에 비해 감소한 것으로 나타났다.

수직재 간격이 1.2 m와 1.5 m인 경우(콘크리트 슬래브 타설 두께 0.9 m)에 대해서도 시스템 동바리 높이 변화와 최소 수평하중 고려 유무에 따른 조합응력비 변화를 분석하여 Fig. 7과 Fig. 8에 나타내었다. 최소 수평하중을 고려하지 않은 경우, 대부분의 경우에서

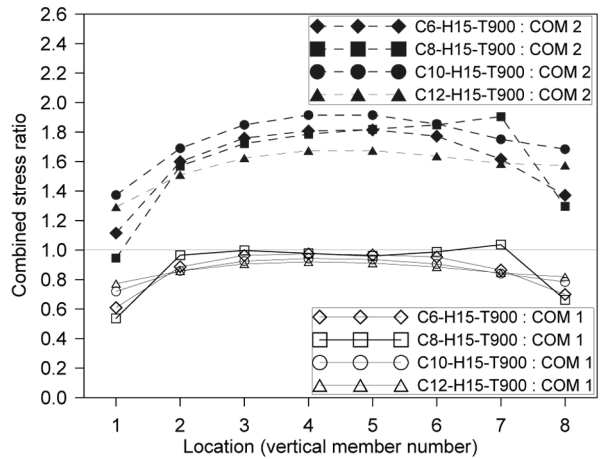


Fig. 8. Comparison results of combined stress ratio(Distance between vertical members = 1,5 m).

조합응력비가 허용 값을 초과하지 않았으나, 최소 수평하중을 고려할 경우 휨응력의 발생으로 대부분의 수직재의 조합응력비가 크게 증가하여 구조 안전성을 확보하지 못하는 것으로 나타났다. 또한, 일부 수직재에서는 최대 조합응력비가 2.0배 이상 증가하는 것으로 나타났다.

수직재 간격이 1.8 m인 경우(Fig. 9)는 최소 수평하중 고려 유무에 상관없이 대부분의 경우에서 조합응력비가 허용 값을 초과하는 것으로 나타났다. 시스템 동바리 높이가 10 m이며 수직재 간격이 1.8 m인 경우에 콘크리트 슬래브 타설 두께를 0.3 m에서 0.9 m로 0.2 m씩 증가시켜 조합응력비를 비교하였다(Fig. 10). 슬래브 두께 0.3 m에서는 COM2/COM1의 비율이 1.5~1.6 정도이며, 슬래브 두께 0.5 m에서는 1.7~1.8, 슬래브 두께 0.7 m에서는 1.8~2.0, 슬래브 두께 0.9 m에

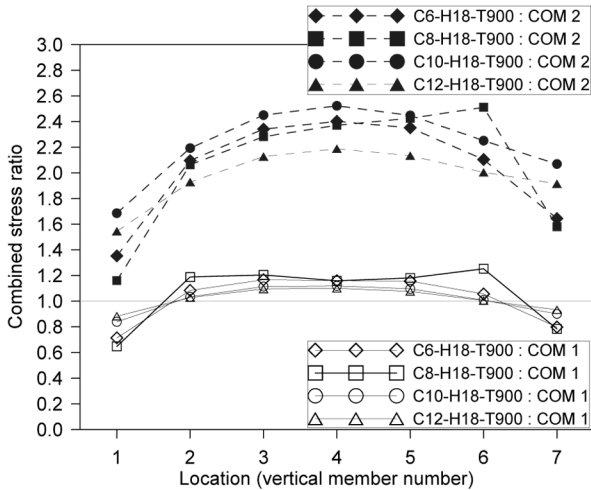


Fig. 9. Comparison results of combined stress ratio(Distance between vertical members = 1,8 m).

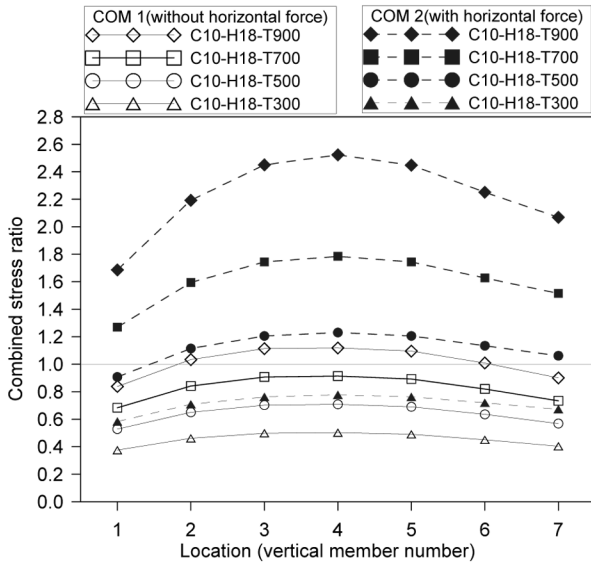


Fig. 10. Change of combined stress ratio according to slab thickness.

서는 2.0~2.2정도로 나타났다. 즉, 슬래브 두께가 증가할수록 적용 최소수평하중의 증가되므로 최소 수평하중을 고려한 경우와 고려하지 않은 경우의 조합응력비의 비율이 증가됨을 확인할 수 있다.

해석 대상 19개의 시스템 동바리에서 수직재의 위치에 상관없이 가장 큰 수직재 조합응력비를 COM 1과 COM 2에 대해 각각 조사하여 Table 3에 나타내었다. 수직재 간격을 0.9 m, 1.2 m, 1.5 m, 1.8 m(슬래브 두께가 0.9 m)로 변화시켜 수평하중 고려에 따른 최대 조합응력비 차이를 분석하면, 시스템 동바리 높이가 6 m에서는 수직재 간격이 증가함에 따라 최대 조합 응력비 차

Table 3. Maximum combined stress ratio

Case	Maximum combined stress ratios		
	COM1	COM2	COM2-COM1
C6-H18-T900	1.167	2.401	1.234
C6-H15-T900	0.975	1.815	0.840
C6-H12-T900	0.781	1.363	0.582
C6-H09-T900	0.584	0.973	0.389
C8-H18-T900	1.253	2.511	1.257
C8-H15-T900	1.037	1.905	0.868
C8-H12-T900	0.827	1.432	0.604
C8-H09-T900	0.619	1.023	0.405
C10-H18-T900	1.119	2.523	1.404
C10-H18-T700	0.914	1.785	0.872
C10-H18-T500	0.709	1.231	0.522
C10-H18-T300	0.503	0.777	0.274
C10-H15-T900	0.943	1.915	0.972
C10-H12-T900	0.768	1.456	0.688
C10-H09-T900	0.580	1.043	0.463
C12-H18-T900	1.100	2.188	1.088
C12-H15-T900	0.920	1.675	0.755
C12-H12-T900	0.755	1.296	0.541
C12-H09-T900	0.575	0.942	0.367

이가 0.389에서 1.234로 증가하였다. 시스템 동바리 높이가 8 m에서는 수직재 간격이 증가함에 따라 최대 조합응력비 차이가 0.405에서 1.257로 증가하며, 높이가 10 m에서는 0.463에서 1.404로, 높이가 12 m에서는 0.367에서 1.088로 증가되었다. 따라서 수직재 간격은 최소 수평하중으로 인한 구조안전성 변화에 영향이 큰 변수임을 알 수 있다.

시스템 동바리 높이가 10 m이며, 수직재 간격이 1.8 m인 경우, 슬래브 두께를 0.3 m, 0.5 m, 0.7 m, 0.9 m로 변화시켜 수평하중 고려에 따른 조합 응력비를 분석한 결과, 슬래브 두께가 증가함에 따라 COM 1과 COM 2의 조합 응력비는 모두 증가하며, 최대 조합응력비의 차이는 0.274에서 1.404로 증가하는 것으로 나타났다. 고정하중의 증가로 적용 최소 수평하중의 크기도 증가되었기 때문이며, 슬래브 두께의 변화도 최소 수평하중으로 인한 구조 안전성 변화에 민감한 변수라고 판단된다.

시스템 동바리 높이의 변화에 따른 COM 1과 COM 2의 최대 조합 응력비 차이는 높이의 증가에 따라 증가하나, 변화량이 크지는 않다. 수직재 간격 1.2 m이고 슬래브 두께 0.9 m인 경우, 시스템 동바리 높이가 6 m에서 12 m로 변화함에 따라 COM 1과 COM 2의 최대

조합 응력비 차이는 0.541~0.688 이므로 최소 수평하중 고려에 따른 구조 안전성 변화에 수직재 간격과 슬래브 두께 변수보다는 민감하지 않은 것으로 판단된다.

5. 결론

본 연구에서는 시스템 동바리의 수직재 간격, 설치 높이, 슬래브 두께 변화를 매개 변수로 하여 시방서에서 규정한 최소 수평하중 고려 유무에 따른 시스템 동바리의 구조 안전성 변화를 분석하였으며, 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 수직재 간격을 0.9 m에서 1.8 m로 순차적으로 변화시켜 시스템 동바리의 최대 조합 응력비를 분석한 결과, 최소 수평하중 고려한 경우와 고려하지 않은 경우의 최대 조합 응력비 차이는 평균적으로 0.4에서 1.3 정도로 변화되는 것으로 나타났다. 또한, 슬래브 두께를 0.3 m에서 0.9 m로 점진적으로 변화시켜 비교한 최대 조합 응력비 차이는 0.3에서 1.4 수준으로 변화되는 것으로 나타났다. 따라서 수직재 간격과 슬래브 두께 변화는 최소 수평하중 고려에 따른 시스템 동바리의 구조 안전성 변화에 민감한 영향을 주는 변수라고 판단된다.

2. 최소 수평하중을 고려하지 않은 경우 시스템 동바리 높이의 증가에 따라 조합응력비의 변화는 작으나, 최소 수평하중을 고려한 경우 높이의 증가에 따라 휨 모멘트가 증가되어 조합응력비가 증가되는 경향을 나타냈다. 그러나 높이 증가에 따른 최소 수평하중 고려한 경우와 고려하지 않은 경우의 최대 조합 응력비 차이 변화는 수직재 간격과 슬래브 두께 변화로 인한 차이보다는 상대적으로 작은 것으로 나타났다.

3. 대상 시스템 동바리 중 일부 경우만 제외하고는 최소 수평하중의 영향으로 최대 조합 응력비가 1보다 큰 것으로 분석되었다. 특히, 슬래브 두께 0.9 m인 경우, 콘크리트 교량 가설용 동바리 설치지침에서 제한한 수직재 간격 0.9 m를 적용한 시스템 동바리에서는 일부 높이에서 구조 안전성을 확보하지 못하였으며, 수직재 간격 1.2 m의 경우에는 시스템 동바리 높이에 상관없이 모든 높이에서 최대 조합 응력비가 1보다 큰 것으로 나타났다. 따라서 규정된 최소 수평하중의 크기는 시스템 동바리의 구조 안전성을 지배할 수준인 것으로 판단된다.

감사의 글: 본 논문은 2013년도 충북대학교 학술연구지원사업의 연구비 지원에 의하여 연구되었으며, 이에 감사드립니다.

References

- 1) MOLIT, Standard Specification in Temporary Construction, 2014.
- 2) MLTM, Guide to Installation of Shores for a Concrete Bridge, 2007.
- 3) J. L. Peng, S. L. Chan and C. L. Wu, "Effects of Geometrical Shape and Incremental Loads on Scaffold Systems", Journal of Constructional Steel Research, Vol. 63, pp.448-459, 2007.
- 4) H. Zhang, T. Chandrangu and K. J. R. Rasmussen, "Probabilistic Study of the Strength of Steel Scaffold System", Structural Safety, Vol. 32, pp.393-401, 2010.
- 5) T. Chandrangu and K. J. R. Rasmussen, "Investigation of Geometric Imperfections and Joint Stiffness of Support Scaffold Systems", Journal of Constructional Steel Research, Vol. 67, pp.576-584, 2011.
- 6) S. L. Chan, H. Y. Huang and L. X. Fang, "Advance Analysis of Imperfect Portal Frames with Semirigid Base Connections", Journal of Engineering Mechanics, ASCE, Vol. 131, pp.633-640, 2005.
- 7) J. L. Peng, A. D. E. Pan, W. F. Chen, T. Yen and S. L. Chan, "Structural Modeling and Analysis of Modular Falsework Systems", Journal of Structural Engineering, Vol. 123, No. 9, pp.1245-1251, 1997.
- 8) J. L. Peng, K. H. Chen, S. L. Chan and W. T. Chen, "Experimental and Analytical Studies on Steel Scaffolds under Eccentric Loads", Journal of Constructional Steel Research, Vol. 65, pp.422-435, 2009.