

# 압축과 힘을 동시에 받는 가교량 주요부재의 좌굴설계

## Buckling Design of Temporary Bridges Subjected to Both Bending and Compression

소 병 훈\* · 경 용 수\*\* · 방 진 환\*\*\* · 김 문 영\*\*\*\*

So, Byoung-Hoon · Kyung, Yong-Soo · Bang, Jin-Hwan · Kim, Moon-Young

### ABSTRACT

Generally main girders and steel piers of temporary bridges form the steel rahmen structure. In this study, the rational stability design procedure for main members of temporary bridges is presented using 3D system buckling analysis and second-order elastic analysis. 2 types of temporary bridges, which are possible to be designed and fabricated in reality, are chosen and the buckling design for them is performed considering load combinations of dead and live loads, thermal load, and wind load. Effective buckling length of steel piers, effects of live loads on effective length of main members, transition of 3d buckling modes, and effects of second-order analysis are investigated through case study of 2 temporary bridges.

**Keywords:** temporary bridge, system buckling analysis, second-order elastic analysis, effective buckling length, buckling design.

### 1. 서 론

가교량(temporary bridge)은 가설교량의 우회도로로 활용되거나, 장비의 이동통로, 시공시의 임시동바리로 활용되고 있는 구조물이다. 일반적으로 강재 가교량은 주형부와 하부기둥부가 고강도 볼트로 체결되어 있는 라멘구조가 주를 이루고 있으며, 고정하중, 활하중, 온도하중 등에 의해서 주형 및 하부기둥의 주요부재가 축력과 휨모멘트를 동시에 받고 있기 때문에 이에 대한 좌굴안정성을 평가해야 한다. 현재 도로교 설계기준(한국도로교통협회, 2005)에서는 축방향력과 휨모멘트를 동시에 받는 부재에 대해 아래와 같은 안정성 검토를 요구하고 있다.

$$\frac{f_c}{f_{ax}} + \frac{f_{bcy}}{f_{bcy} \left(1 - \frac{f_c}{f_{by}}\right)} + \frac{f_{bcz}}{f_{bcz} \left(1 - \frac{f_c}{f_{bz}}\right)} \leq 1 \quad , \quad f_c + \frac{f_{bcy}}{(1-f_{dfy})} + \frac{f_{bcz}}{(1-f_{dfz})} \leq f_{cal} \quad (1)$$

여기서,  $f_c$ =단면에 작용하는 축방향력에 의한 압축응력,  $f_{ax}$ =약축방향의 허용압축응력,  $f_{bcy}$ ,  $f_{bcz}$ = 강축

\* 성균관대학교 건설환경시스템공학과 석사과정 E-mail: coolbomber@nate.com

\*\* 성균관대학교 건설환경시스템공학과 박사과정 · 공학석사 E-mail: sosory@dreamwiz.com

\*\*\* (주)휴먼브릿지 기술개발이사 E-mail: yangsu10@empal.com

\*\*\*\* 정회원 · 성균관대학교 건설환경시스템공학과 교수 · 공학박사 E-mail: kmye@skku.ac.kr

및 약축 둘레에 작용하는 휨모멘트에 의한 휨압축응력,  $f_{basy}$  =국부좌굴을 고려하지 않은 강축 둘레의 허용휨 압축응력,  $f_{bao}$  = 국부좌굴을 고려하지 않은 허용휨압축응력의 상한값,  $f_{Ey}, f_{Ez}$  =강축 및 약축 둘레의 허용오일러 좌굴응력이다. 여기서,  $f_{caz}, f_{Ey}, f_{Ez}$ 를 산정하기 위해서는 적절한 유효길이를 결정해야 한다.

식(1)에서의  $1/(1-f_d/f_{Ey})$ 와  $1/(1-f_d/f_{Ez})$ 는 P-Delta효과를 고려하는 축력으로 인한 휨응력의 증폭계수를 나타내고 있으며, 편심하중, 경계조건 등의 영향을 근사적으로 반영하고 있다. 하지만 P- $\delta$ 효과는 적절히 고려하고 있는 반면에 P- $\Delta$ 효과는 무시하고 있다.(김 등, 2005)

본 연구에서는 주형과 하부기둥이 라멘구조를 형성하는 가교량(그림 2)에 대한 좌굴거동 특성을 조사하고자 한다. 하부기둥이 공기중에 노출 된 경우와 지반에 묻혀 있는 경우, 두가지 모델을 이용해 고정하중, 활하중 및 온도하중에 대한 좌굴해석 및 2차 탄성해석을 실시하여 3차원 좌굴 안정성을 검토해본다. 또한 관용적인 방법과 시스템좌굴 고유치해석을 통해 구한 유효길이를 이용하여 도로교 설계기준의 좌굴안정성 검토식과 이를 수정한 개선된 좌굴설계법의 검토식을 비교한다. 결과적으로 각각의 모델에 대한 Case Study를 통하여 강재교각부의 유효길이 산정법, 활하중이 유효길이에 미치는 영향, 3차원 좌굴모드에 대한 고찰, 그리고 2차해석의 효과를 심층적으로 조사한다.

## 2. 가교량 주요부재의 좌굴설계 방법

### 2.1 시스템좌굴 고유치해석기법

최근 연구에 의하면 시스템좌굴 고유치해석기법을 이용하여 일반적으로 압축을 받는 임의의 부재의 유효길이를 다음과 같은 방법으로 합리적으로 산정할 수 있다.

먼저  $K_E U = F$ 을 이용해 조합하중에 대한 선형탄성해석을 수행하여 각 보-기둥부재의 축방향력  $P_i$ 를 산정한다. 여기서  $K_E (= \sum K_e)$ 와  $F$ 는 각각 탄성강도행렬, 하중벡터이다. 다음으로 축방향력  $P_i$ 를 이용하여 기하강도행렬  $K_G (= \sum K_g(P_i))$ 를 구성하고, 시스템 좌굴고유치 해석을 수행( $K_E U = \lambda K_G U$ )하여 첫번째 좌굴모드에 대응하는 좌굴고유치  $\lambda_{cr}$ 을 구한다. 마지막으로 각 부재의 좌굴하중  $P_{cr,i} (= \lambda_{cr} P_i)$  및 유효길이를 산정한다.

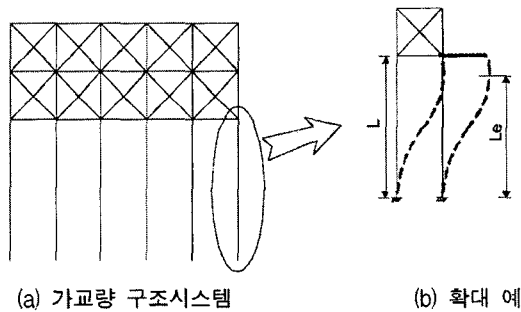


그림 1. 가교량의 좌굴에 대한 유효길이

### 2.2 2차 탄성해석기법

시스템좌굴 고유치 해석기법과 같은 방법으로  $P_i, K_G$ 를 산정하고, 절점하중벡터  $F$ 에서 축방향력  $P_i$ 에

대응하는 등가절점하중을 제거한 하중벡터  $F^*$ 를 구한다. 이때  $F^* = F - \sum P_i^*$ 로 산정하며  $P_i^* = \{-P_i \cos \theta, -P_i \sin \theta, 0, P_i \cos \theta, P_i \sin \theta, 0\}^T$ 이다. 여기서  $\theta$ 는 부재축이 전체좌표계와 이루는 사이각을 나타낸다. 다음으로  $F^*$ 에 대하여 2차 선형해석을 수행한다.  $(K_E + K_G)U = F^*$  마지막으로  $U$ 를 이용하여 축력( $P_i + P_i^*$ )과 휨모멘트를 산정한다.

2차 탄성해석법은 선형탄성해석을 2번 수행하는 비교적 간단한 해석법이지만 축력에 의한 2차 효과를 비교적 정확히 고려할 수 있는 방법이다.

### 2.3 보-기둥부재의 좌굴안정성 검토

가교량의 2차탄성해석을 통하여 주요부재의 축력 및 휨모멘트를 산정하고, 이를 이용한 고유치 해석을 수행하여 좌굴하중을 산정할 수 있다. 또한, 도로교 설계기준(대한민국, 2005)의 보-기둥부재에 대한 안정성 검토식 대신에 식(2)와 같은 개선된 좌굴검토식을 적용한다.

$$\frac{f_c}{f_{caz}} + \frac{f_{bcy}^*}{f_{bcy}} + \frac{f_{bcz}^*}{f_{bcz}} \leq 1 \quad , \quad f_c + f_{bcy}^* + f_{bcz}^* \leq f_{cal} \quad (2)$$

여기서  $f_{bcy}^*$ ,  $f_{bcz}^*$ : 각각 강축(y축) 및 약축(z축) 둘레에 작용하는 휨모멘트에 의한 휨압축응력(MPa) 단, 2차 탄성해석법(second-order elastic analysis)으로 산정한 휨모멘트를 사용한다.

### 3. 가교의 좌굴설계를 위한 구조해석 모델

대상 가교량의 기본형상은 그림 2와 같으며, 각 부재의 제원은 표 1과 같다. 교량의 지간은 30m, 교폭은 10m이며, 하부기둥의 지점부가 지반에 고정된 강재 라멘구조물이다. 하중으로는 고정하중, 활하중(DB24) 및 온도하중을 고려하였는데, 여기서 온도하중은 기후가 보통인 지방을 기준으로  $\pm 35^\circ\text{C}$ 를 적용하였다.

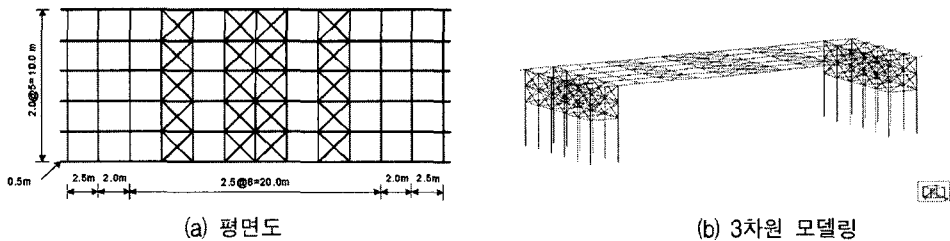


그림 2. 대상 가교량의 구성

표 1. 대상 가교량의 제원

구분	$A (cm^2)$	$I_x (cm^4)$	$I_y (cm^4)$	$r_x (cm)$	$r_y (cm)$	$Z_x (cm^3)$	$Z_y (cm^3)$
주 형(복합거더) H-740×300×13×44	348.76	350167	19812	31.69	7.54	23344	1320
가로보(SS400) H-300×300×10×15	119.80	20400	6750	13.10	7.51	1360	450
브레이싱(SS400) L-100×100×10×10	19.00	175	175	3.04	3.04	24.40	24.40
하부기둥(SS400) H-350×350×12×19	173.90	40300	13600	15.2	8.84	2300	776
고강도 강관(SM520)	$t = 20mm$						

### 4. 가교의 좌굴설계에 대한 매개변수 연구

본 연구에서는 하부기둥부가 지반에 묻혀 있는 경우와 지상에 노출된 경우 각각에 대해서 가교량의 좌굴 해석 및 유효길이에 대한 매개변수연구를 수행하였다. 축력과 휨이 동시에 작용하는 부재에 대해 좌굴안정성을 평가하는 방법은 크게 두 가지로 나눌 수가 있다. 도로교설계기준(한국도로교통협회, 2005)의 식을 이용하는 방법과 개선된 좌굴안정식(김동, 2005)을 이용하는 방법이 그것인데, 본 연구에서는 두 가지 방법을 모두 사용하여 가교량의 좌굴안정성을 비교·분석하였다.

#### 4.1 하부기둥부가 지반에 묻힌 가교량의 좌굴설계 예

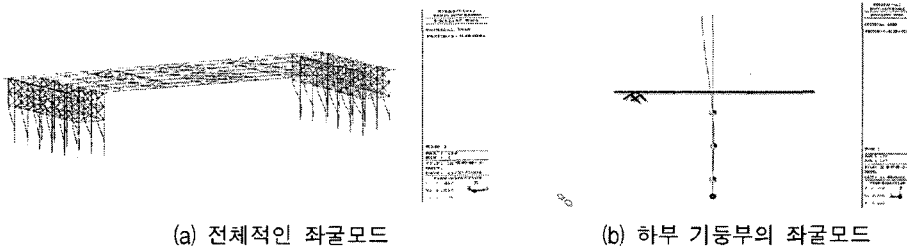


그림 3. 가교량의 첫 번째 좌굴 모드 - 1

그림 3은 가교량의 첫 번째 좌굴모드를 나타내고 있다. 그림에서 보듯이 가교량의 좌굴시스템에서 하부기둥은 약축방향으로 좌굴이 발생하는 좌굴취약부이며, 상부의 경우는 하부기둥의 좌굴형상을 따라 변위를 일으킨 것으로 판단된다. 특히 그림 3(b)에 보여지듯이 하부기둥의 일부가 지반에 묻혀있으므로 대상부재의 유효길이 산정시 지반반력계수가 미치는 영향을 고려해야 한다.

표 2. 주요부재의 축력 및 모멘트

분류		상부주형		하부기둥	
		H 740x300x13/44		H 350x350x12/19	
		선형해석	2차해석	선형해석	2차해석
고정하중 재하	모멘트(kN-m)	316.99	317.38	57.26	57.35
	축력(kN)	-67.81	-67.82	-1664.79	-165.10
고정하중	모멘트(kN-m)	1040.94	1042.96	130.32	130.67
+활하중 재하	축력(kN)	-155.62	-155.55	-427.63	-429.09

표 3. 선형해석에 의한 좌굴안정성 검토

분류	고정하중 + 활하중			고정하중		
	주형(부모멘트부)	주형(정모멘트부)	하부기둥	주형(부모멘트부)	주형(정모멘트부)	하부기둥
비지지길이(Le)	200.00	250.00	540.00	200.00	250.00	540.00
(A) $f_c/f_{oaz}$	0.03	0.03	0.23	0.01	0.01	0.09
중력계수 : $1/(1-f_c/f_{ey})$	1.00	1.00	1.03	1.00	1.00	1.01
(B) $f_{bcy}/(f_{bag} \times (1-f_c/f_{ey}))$	0.79	0.68	0.42	0.24	0.15	0.18
중력계수 : $1/(1-f_c/f_{ez})$	1.00	1.00	0.92	1.00	1.00	0.97
(C) $f_{bcz}/(f_{bao} \times (1-f_c/f_{ez}))$	0.06	0.00	0.03	0.03	0.00	0.01
A+B+C <= 1	0.88	0.72	0.68	0.28	0.16	0.28

표 2는 대상교량에 고정하중과 고정하중+활하중을 작용시킨 경우, 주요부재에 발생하는 모멘트와 축력을 나타내고 있다. 이는 각각 선형해석과 P-Δ-δ효과를 고려한 2차해석 결과를 보여주고 있다. 일반적으로 축력이 작용하는 부재는 2차효과 영향이 있지만 본 대상교량에서는 크게 두드러지지 않음을 알 수 있다. 이를 통해 좌굴안정성 검토시에 선형해석만으로도 부재의 안정성을 충분히 고려할 수 있다고 판단된다. 이에 대해 좀더 정확한 결과를 얻기 위하여 본 연구에서는 선형해석과 2차해석을 비교·분석하고, 매개변수연구를 통하여 결과를 제시한다.

표 3은 활하중 추가재하어부에 따른 선형해석시 가교량 주요부재의 좌굴안정성을 도로교설계기준(한국도로교통협회, 2005)에 따라 검토한 결과이며, 유효길이는 비지지길이인 가로보 간격 540cm를 사용하였다.

주요부재의 안정성평가식은 축력항과 모멘트항으로 구분할 수 있는데, 주형의 경우는 강축방향의 모멘트가 지배적이고 약축방향모멘트와 축력은 미미한 수치를 보이며, 하부기둥의 경우는 모멘트와 축력이 모두 적절한 수치를 나타내고 있음을 볼 수 있다. 따라서 이러한 결과를 분석해 볼 때 주형의 경우에는 축력보다는 휨모멘트가 지배적인 부재로 볼 수 있으며, 하부기둥부의 경우에는 압축력과 휨모멘트가 적절한 값을 가지고 있어 축력과 휨을 동시에 받는 부재로 보고 안정성을 평가해야 할 것으로 판단된다.

표 4. 2차효과를 포함하는 좌굴안정성 검토

분류	고정하중 + 활하중			고정하중		
	주형(부모멘트부)	주형(정모멘트부)	하부기둥	주형(부모멘트부)	주형(정모멘트부)	하부기둥
Eigenvalue	94.12	94.12	94.12	222.32	222.32	222.32
Le(유효길이)	529.60	538.95	264.19	521.86	531.35	277.12
(A) $f_c/f_{oaz}$	0.04	0.04	0.19	0.02	0.02	0.07
(B) $f_{bcy}^* / f_{bag}$	0.79	0.69	0.41	0.24	0.15	0.18
(C) $f_{bcz}^* / f_{bao}$	0.01	0.00	0.03	0.03	0.00	0.01
A+B+C <= 1	0.84	0.73	0.63	0.29	0.17	0.26

표 4는 2차해석을 포함하는 개선된 좌굴안정식으로 안정성을 판단하고 있다. 2차해석에 의해 구한 유효길이를 선형해석시에 사용한 비지지길이와 비교하면 주형의 경우는 길어졌고, 하부기둥부의 경우는 짧아진 것을 알 수 있다.

또한 주형의 경우는 강축방향의 모멘트항이 지배적이며 축력항은 상대적으로 작은 값을 보이고 있는 반면 하부기둥의 경우는 축력항과 모멘트 항 모두 무시할 수 없는 크기의 수치를 보이고 있다. 따라서 주형은 휨이 지배적인 부재로 판단하고 설계해도 되지만 하부기둥부는 축력과 휨이 동시에 작용하는 부재로 판단하여 설계 및 검토가 이루어져야 한다고 볼 수 있다.

특히 표 3과 표 4는 좌굴안정성을 접근하는 방법이 다르기 때문에 각각의 식에 사용되는 유효길이에 따라 다르게 산정된다. 표 3과 표 4의 (A)항을 살펴보도록 하자. (A)항은 좌굴안정성 검토식에서 축력항을 나타내

고 있으며, 이는 유효길이에 의해 지배되는 수치이다. 즉, 표 3에서는 관용적인 방법으로 유효길이를 산정하였기 때문에 주형부는 각각 200cm와 250cm, 하부기둥부는 540cm를 사용하였다. 그러나 표 4의 경우는 시스템좌굴 고유치해석을 이용하여 유효길이를 산정하였기 때문에 주형부의 주목하는 부재의 유효길이는 각각 529.60cm와 538.95cm이며, 하부기둥부는 364.19cm이다. 따라서  $\lambda = L_e/\gamma$ 의 범위를 이용하여 국부좌굴을 고려하지 않은 허용축방향 압축응력(도로교설계기준 표 3.3.2 참조)을 구한 후, 이를 이용하여 부재에 작용하는 축력항의 영향을 판단할 수 있다. 이에 대한 자세한 비교는 표 5와 같다.

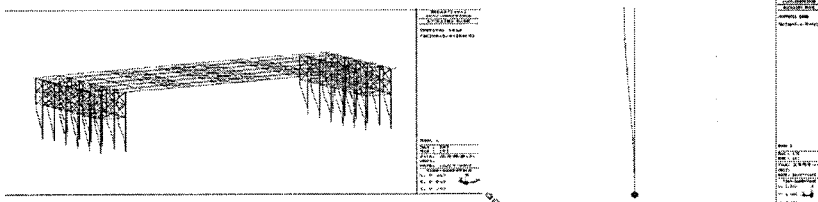
표 5. 유효길이에 따른 축력항의 비교

분류		고정하중 + 활하중			고정하중		
		주형(부모멘트부)	주형(정모멘트부)	하부기둥	주형(부모멘트부)	주형(정모멘트부)	하부기둥
도로교설계기준의 좌굴안정식	비지지길이 $L_e$ (cm)	200.00	250.00	540.00	200.00	250.00	540.00
	$\lambda = L_e / r$	18.74	23.42	61.06	18.74	23.42	61.06
	$\bar{\lambda} = \frac{1}{\pi} \times \sqrt{\frac{F_y}{E}} \times \lambda$	0.20	0.25	0.66	0.20	0.25	0.66
	(A) $f_o/f_{oaz}$	0.03	0.03	0.23	0.01	0.01	0.09
개선된 좌굴안정식	유효길이 $L_e$ (cm)	529.60	538.95	264.19	521.86	531.35	277.12
	$\lambda = L_e / r$	49.62	50.49	29.87	48.89	49.78	31.34
	$\bar{\lambda} = \frac{1}{\pi} \times \sqrt{\frac{F_y}{E}} \times \lambda$	0.53	0.54	0.32	0.53	0.54	0.34
	(A) $f_o/f_{oaz}$	0.04	0.04	0.19	0.02	0.02	0.07

표5는 유효길이의 변화에 따른 축력항의 크기변화를 보여주고 있다. 여기서 개선된 좌굴안정식을 사용한 경우는 비지지길이 대신 시스템좌굴 고유치해석을 이용하여 구한 유효길이를 사용하게 되며, 그로 인해 축력항의 값이 차이를 보이고 있다. 하부기둥의 경우는 유효길이가 비지지길이보다 짧아 축력항이 크게 나타나고 있으며, 주형의 경우는 축력의 크기가 상당히 작기 때문에 유효길이의 영향이 거의 나타나지 않고 있다.

결과적으로 주형의 경우에는 작용축력이 허용축력보다 매우 작기 때문에 좌굴안정성해석에 미치는 영향이 무시할만한 수준으로 보이며, 따라서 대상부재를 휨부재로 볼 수 있다고 판단된다. 또한 2차해석을 통해 구한 하부기둥부의 유효길이는 선형해석시에 사용된 비지지길이보다 짧게 나타나며 그에 따라서 개선된 좌굴안정식에 적용된 축력항의 크기가 도로교설계기준의 좌굴안정식의 경우보다 작게 나타남을 알 수 있다.

4.2 하부기둥부가 지상에 노출된 가교량의 좌굴설계 예



(a) 전체적인 좌굴모드 (b) 하부기둥부의 좌굴모드

그림 4. 가교량의 첫 번째 좌굴 모드 - 2

두번째 모델은 교각부가 모두 지반 위로 노출된 경우이다. 그림 4는 가교량의 첫 번째 좌굴모드를 나타내

고 있다. 그림 4(a)에서 보는 바와 같이 하부기둥부가 좌굴취약부로서 약축방향으로 좌굴모드가 발생하였으며, 상부구조는 좌굴이 일어나지 않고 하부기둥부의 좌굴형상을 따라 변위가 발생한 것으로 판단된다.

표 6. 선형해석에 의한 좌굴안정성 검토

분류	고정하중 + 활하중			고정하중		
	주형-(부모멘트부)	주형-(정모멘트부)	하부기둥	주형-(부모멘트부)	주형-(정모멘트부)	하부기둥
비지지길이 $L_e$	200.00	250.00	540.00	200.00	250.00	540.00
(A) $f_c/f_{cax}$	0.02	0.02	0.34	0.01	0.01	0.14
중복계수 : $1/(1-f_c/f_{ey})$	1.00	1.00	1.04	1.00	1.00	1.02
(B) $f_{bcy}/(f_{bcy} \times (1-f_c/f_{ey}))$	0.78	0.69	0.14	0.24	0.15	0.05
중복계수 : $1/(1-f_c/f_{ez})$	1.00	1.00	0.89	1.00	1.00	0.95
(C) $f_{bcz}/(f_{bca} \times (1-f_c/f_{ez}))$	0.06	0.00	0.46	0.03	0.00	0.21
$A+B+C \leq 1$	0.86	0.71	0.94	0.28	0.16	0.40

표 7. 2차효과를 포함하는 좌굴안정성 검토

분류	고정하중 + 활하중			고정하중		
	주형-(부모멘트부)	주형-(정모멘트부)	하부기둥	주형-(부모멘트부)	주형-(정모멘트부)	하부기둥
Eigenvalue	54.55	54.55	54.55	125.85	125.85	125.85
$L_e$ (유효길이)	855.13	867.44	286.29	858.89	871.80	296.43
(A) $f_c/f_{cax}$	0.03	0.03	0.28	0.01	0.01	0.11
(B) $f_{bcy}^* / f_{bcy}$	0.78	0.69	0.14	0.24	0.15	0.05
(C) $f_{bcz}^* / f_{bca}$	0.06	0.00	0.41	0.03	0.00	0.20
$A+B+C \leq 1$	0.87	0.72	0.83	0.28	0.16	0.36

표 6과 표 7은 고정하중+활하중을 재하한 경우와 고정하중만을 재하한 경우 각각에 대해 도로교설계기준 식과 개선된 좌굴안정성을 이용하여 좌굴안정성을 평가한 것이다. 먼저 표 6은 선형해석을 한 후 도로교설계기준의 좌굴안정식을 이용하였고, 표 7은 시스템좌굴 고유치해석을 이용하여 유효길이를 구한 후 개선된 좌굴안정식을 이용하였다. 유효길이는 도로교설계기준의 좌굴안정식을 이용하는 경우 관용적으로 사용되는 비지지길이를 이용하였으며, 개선된 좌굴안정식을 사용하는 경우는 시스템좌굴 고유치해석을 이용하여 구한 유효길이를 사용하므로 압축을 받는 가교량의 주요부재 즉, 주형부와 하부기둥부의 유효길이가 달라졌다. 주형의 경우는 비지지길이에 비해 시스템좌굴 고유치해석을 이용하여 구한 유효길이가 길어짐을 알 수 있고, 하부기둥의 경우 관용적인 비지지길이에 비해 시스템좌굴 고유치해석을 이용하여 구한 유효길이가 짧아짐을 알 수 있다. 허용압축응력에 대한 작용압축응력의 크기를 비교해 보았을 때 주형부는 작은 값을 가지고 하부기둥부는 큰 값을 갖기 때문에, 유효길이의 영향 또한 주형부에서는 작고 하부기둥부에서는 크게 된다.

표 7에서 좌굴해석에 의한 첫 번째 모드의 좌굴고유치값을 이용하면 각 부재의  $P_c$  값을 구할 수 있다. 좌굴해석 결과 나타난 하부기둥부의 유효길이는 재하하중에 따라 각각 286.29cm, 296.43cm를 나타내고 있다. 앞 절의 지반에 묻혀있는 경우의 유효길이 264.19cm, 277.12cm와 비교할 때 더 큰 값을 나타내고 있으며, 이는 실제적으로 지반의 영향에 의해 유효길이가 짧아짐을 알 수 있다.

본 예제에서도 하부기둥부의 경우 시스템좌굴 고유치해석을 이용하여 구한 유효길이가 관용적으로 사용하던 비지지길이보다 짧게 나타남에 따라 축력의 영향이 더욱 작게 평가됨을 알 수 있었다.

### 5. 결론

본 논문에서는 시스템좌굴고유치 해석을 이용한 가교량 주요부재의 좌굴안정성 검토를 하였다. 본 연구에

서 설계된 가교량의 경우는 상부주형과 하부기둥부가 일체화된 라멘형식이 적용되었으며, 고정하중, 활하중, 온도하중에 의해 상부주형 및 하부기둥부에 압축과 휨을 야기시킨다. 따라서, 압축과 휨을 동시에 받는 부재의 경우에 따른 좌굴안정성을 판단해야 한다. 따라서 본 연구에서는 상용프로그램인 Midas/Civil을 이용하여 정적해석 및 3차원 좌굴해석을 수행하였다. 이에 대한 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 주형의 경우에는 작용하는 압축응력이 허용압축응력에 비해 상대적으로 작으며, 이로 인해 관용적으로 사용되는 비지지길이보다 좌굴 고유치해석을 이용하여 구한 유효길이보다 길게 나타난다. 그러나, 압축응력의 크기가 허용압축응력에 비해 상당히 작기 때문에 큰 영향을 미치지 못하고 있다. 따라서, 주형은 압축력보다는 휨이 지배적인 부재임을 알 수 있었다.
2. 기둥의 경우에는 고정하중, 온도하중에 의해 발생하는 압축력이 주형의 압축력보다 상대적으로 크기 때문에 탄성좌굴고유치 해석을 통해 얻은 유효길이는 비지지길이보다 작아짐으로 인해 좌굴길이가 작은 경우 더 안전측으로 설계되고 있다.
3. 국내의 도로교설계기준에서 제시되는 좌굴안정성 검토식에 적용하기 위한 유효길이의 정확한 계산을 위해서는 관용적인 방법보다는 시스템좌굴 고유치해석을 통하여 구한 유효길이를 사용하는 것이 합리적이다.
4. P-Delta 효과를 고려한 개선된 좌굴해석식을 사용하였을 경우, 주형부에서는 압축력이 작기 때문에 유효길이가 늘어남을 보이나, 주형부 전체적인 안정성평가에서는 그리 크게 변화하지 않음을 알 수 있다.
5. 하부기둥의 경우 P-Delta 효과를 고려한 개선된 좌굴해석식을 사용하였을 경우에는 주형부보다 유효길이가 작아진다. 따라서 하부기둥부의 축력항은 많은 안정성을 확보할 수 있다.

## 감사의 글

이 연구는 2005-2006년도 승화프랜트와 HUMAN BRIDGE의 위탁연구과제지원으로 수행되었으며 연구지원에 감사드립니다.

## 참 고 문 헌

- 김문영, 송주영, 정용수, 김남일 (2005) 탄성좌굴 고유치 및 2차 탄성해석법을 이용한 평면강철프레임의 개선된 좌굴설계법, 한국전산구조공학회논문집, 18(2), pp.159~168.
- 진만식, 정용수, 김문영 (2004) 평면프레임의 좌굴설계를 위한 정확한 유효좌굴계수 산정, 대한토목학회논문집, 24(3A), pp. 509~516.
- (주)마이다스아이티, Midas/Civil 사용자지침서
- American Institute of Steel Construction(2002) AASHTO LRFD Bridge Design Specifications, 2nd ed, Chicago, IL
- Salmon, C.G., Johnson, J.E. (1996), Steel Structures - Design and Behavior, Harper Collins