

# 플랜지-복부판의 상호작용을 고려한 I형 거더의 탄성휨좌굴

## Elastic Bend Buckling of I-Girders

### Considering Interactive Effects of Flanges and Webs

강 영 종<sup>1)</sup>      최 진 유<sup>2)</sup>      최 영 준<sup>3)</sup>      최 승 겹<sup>4)</sup>  
Kang, Young-Jong   Choi, Jin-Yoo   Choi, Young-Joon   Choi, Seung-Kyoun

---

In designing plate bridges, the width-thickness ratio of flanges and webs are proportioned in such that the premature local buckling of flanges and webs prior to achievement of the full strength of plate-girders must be prevented. It is the common practice in most design codes that the flange local buckling strength and the web bend buckling strength are separately computed. In most practical plate girders, however, the flange buckles simultaneously when web bend-buckling occurs, vice versa. The primary purpose of the present study is to investigate the phenomenon, which may be called flange-web interactive buckling. Using the eight-node shell element available in the commercial multi-purpose program ABAQUS, the phenomenon was quantitatively investigated. Also presented are the effects of various factors such as the ratio of flange slenderness ratio to the web slenderness ratio, the ratio of flange width to the web depth, and the longitudinal stiffeners. A series of comparative studies with various design codes show that the present study provides more accurate and effective design basis in proportioning the flanges and webs.

---

#### 1. 서론

산업혁명 이후 지금까지 모든 구조물은 그 규모가 거대화, 장대화하는 경향을 보이고 있으며 앞으로도 계속 그러할 것으로 전망된다. 이러한 경향에 있어 가장 먼저 대두되는 것은 구조물의 경량화 및 건설비의 절감이다. 구조물의 경량화 및 건설비의 절감은 고강도 재료의 출현과 역학이론의 발달로 가능하게 되었으며 그 대표적인 경우가 강구조를 비롯한 박판구조물이라 할 수 있다. 그러나 고강도 재료의 박판구조물은 작아진 단면적에 의해 압축력을 받을 경우 필연적으로 “좌굴(Buckling)현상”을 동반하게 되므로 이에 좌굴에 대한 검토를 반드시 수행해야만 한다.

플랜지와 복부판으로 구성된 I형 거더가 휨하중을 받을 때 압축력을 받는 플랜지와 복부판의 일부분에서 국부휨좌굴이 발생하게 된다. 현재 플랜지와 복부판의 국부휨좌굴에 대한 설계규정에서는 일축압축을 받는 플랜지와 휨응력을 받는 복부판에 대해 각각의 식을 제시하고 있다. 즉, I형 거더의 플랜지와 복부판의 접합부의 경계조건을 단순지지와 고정지지의 중간으로 보고 서로 독립된 식을 제시하고 있는 실정이다. 그러나, I형 거더가 휨하중을 받게되어 국부휨좌굴을 일으킬 때, 플랜지와 복부판은 동시에 좌굴을 일으키게 되며 이때, 플랜지의 좌굴과 복부판의 좌굴은 서로 영향을 미치게 된다. 그러나 현재 사용하고 있는 국부휨좌굴에 대한 설계규정의 식은 플랜지와 복부

- 
- 1) 고려대학교 토목환경공학과 조교수
  - 2) 고려대학교 토목환경공학과 박사과정
  - 3) 고려대학교 토목환경공학과 박사과정
  - 4) 고려대학교 토목환경공학과 석사과정

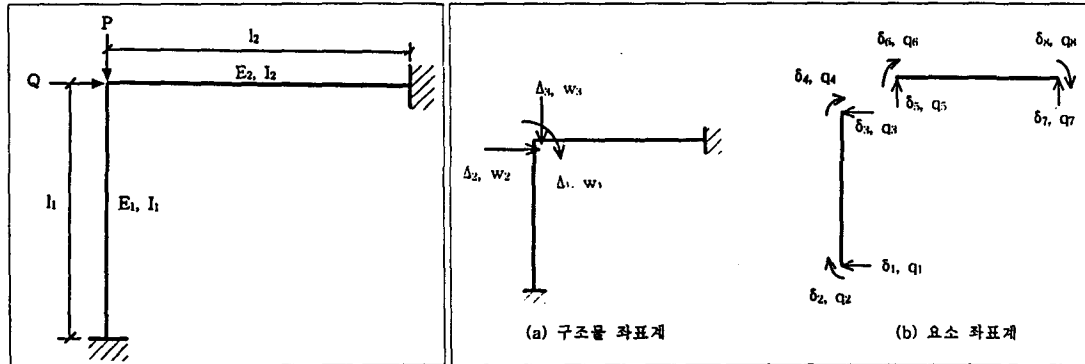
판에 대해 서로 독립적으로 제시되어 있어 플랜지의 좌굴과 복부판의 좌굴이 서로에 대해 미치는 영향을 고려할 수 없다.

그러므로 본 연구에서는 I형 거더의 플랜지와 복부판의 세장비에 따른 상호좌굴의 경향을 살펴 보려하며, 수평보강재의 부착으로 인한 복부판의 좌굴수행능력의 증가정도와 이에 따른 플랜지의 좌굴수행능력의 변화를 통해 전체 I형 거더의 플랜지-복부판 상호좌굴에 대해 알아보려고 한다.

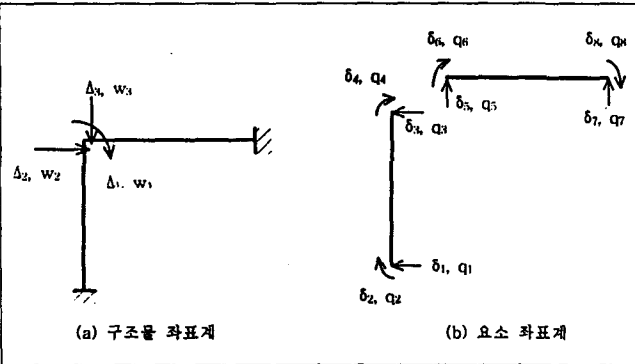
## 2. 상호좌굴(Interactive Buckling)의 개념

I형 거더의 플랜지와 복부판의 접합부는 단순지지도 고정지지도 아닌 탄성적으로 지지된 상태이다. I형 거더의 국부좌굴거동에 있어서 플랜지와 복부판이 강결되어있다고 볼 때 플랜지에서 변형이 발생하면 복부판도 변형을 발생시키며, 반대의 경우도 마찬가지이다. 즉, 플랜지와 복부판의 좌굴은 동시에 일어나게 되는 것이다.

이러한 사실을 [그림 1]과 같은 수직부재와 수평부재가 동시에 압축력을 받는 프레임 구조물의 임계좌굴하중을 구함으로써 설명하도록 하겠다.



[그림 1] 압축력을 받는 프레임 구조물



[그림 2] 구조물좌표계와 요소좌표계

[그림 2]에서  $\delta$ 는 요소변위,  $\Delta$ 는 구조물변위를 나타내며,  $q$ 는 요소하중,  $W$ 는 구조물하중을 나타낸다. 요소 1과 2에 대한 요소강성행렬인  $[k_1]$ 과  $[k_2]$ 는 다음과 같다.

$$[k_1] = \frac{E_1 I_1}{l_1^3} \begin{pmatrix} 12 & -6 & -12 & -6 \\ -6 & 4 & 6 & 2 \\ -12 & 6 & 12 & 6 \\ -6 & 2 & 6 & 4 \end{pmatrix} - \frac{P}{l_1} \begin{pmatrix} \frac{6}{5} & -\frac{1}{10} & -\frac{6}{5} & -\frac{1}{10} \\ -\frac{1}{10} & \frac{2}{15} & \frac{1}{10} & -\frac{1}{30} \\ -\frac{6}{5} & \frac{1}{10} & \frac{6}{5} & \frac{1}{10} \\ -\frac{1}{10} & -\frac{1}{30} & \frac{1}{10} & \frac{2}{15} \end{pmatrix}$$

$$[k_2] = \frac{E_2 I_2}{l_2^3} \begin{pmatrix} 12 & -6 & -12 & -6 \\ -6 & 4 & 6 & 2 \\ -12 & 6 & 12 & 6 \\ -6 & 2 & 6 & 4 \end{pmatrix} - \frac{Q}{l_2} \begin{pmatrix} \frac{6}{5} & -\frac{1}{10} & -\frac{6}{5} & -\frac{1}{10} \\ -\frac{1}{10} & \frac{2}{15} & \frac{1}{10} & -\frac{1}{30} \\ -\frac{6}{5} & \frac{1}{10} & \frac{6}{5} & \frac{1}{10} \\ -\frac{1}{10} & -\frac{1}{30} & \frac{1}{10} & \frac{2}{15} \end{pmatrix}$$

요소강성행렬로부터 구조물강성행렬(Structure element matrix)을 얻기 위한 변환은 다음과 같다.

$$[K_n] = [B_n]^T [k_n] [B_n]$$

여기서,  $[B_n]$ 은 변환행렬(Transformation matrix)로서 다음과 같이 정의된다.

$$[\delta_n] = [B_n] [A_n]$$

따라서, 요소 1과 2의 변환행렬은 다음과 같다.

$$[B_1] = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \end{pmatrix}, \quad [B_2] = \begin{pmatrix} 0 & 0 & -1 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

요소강성행렬과 변환행렬을 다음과 같이 변환할 수 있다.

$$[K_1] = \frac{E_1 I_1}{I_1^3} \begin{pmatrix} 4 & -6 & 0 \\ -6 & 12 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} - \frac{P}{I_1} \begin{pmatrix} \frac{2}{15} & 0 & \frac{1}{10} \\ 0 & 0 & 0 \\ \frac{1}{10} & 0 & \frac{6}{5} \end{pmatrix}$$

$$[K_2] = \frac{E_2 I_2}{I_2^3} \begin{pmatrix} 4 & -6 & 0 \\ -6 & 12 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} - \frac{Q}{I_2} \begin{pmatrix} \frac{2}{15} & 0 & \frac{1}{10} \\ 0 & 0 & 0 \\ \frac{1}{10} & 0 & \frac{6}{5} \end{pmatrix}$$

구조물강성행렬은  $[K_1]$ 과  $[K_2]$ 를 더하여 구할 수 있으며, 다음과 같다.

$$[K] = \left( \frac{E_1 I_1}{I_1^3} + \frac{E_2 I_2}{I_2^3} \right) \begin{pmatrix} 4 & -6 & 0 \\ -6 & 12 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} - \left( \frac{P}{I_1} + \frac{Q}{I_2} \right) \begin{pmatrix} \frac{2}{15} & 0 & \frac{1}{10} \\ 0 & 0 & 0 \\ \frac{1}{10} & 0 & \frac{6}{5} \end{pmatrix}$$

윗 식에서  $E_1 = E_2 = E$ ,  $I_1 = I_2 = I$ ,  $Q = \alpha P$ ,  $I_2 = \beta I_1 = \beta I$ 라 놓고,  $\lambda = \frac{P I^2}{EI}$ 라 놓으면 구조물강성행렬은 다음과같이 쓸 수 있다.

$$[K] = \frac{EI}{I^3} \begin{pmatrix} 4(\beta+1) - \frac{2}{15}(\alpha+1)\lambda & -6(\beta+1) & \frac{1}{10}(\alpha+1)\lambda \\ -6(\beta+1) & 12(\beta+1) & 0 \\ \frac{1}{10}(\alpha+1)\lambda & 0 & \frac{6}{5}(\alpha+1)\lambda \end{pmatrix}$$

구조물이 임계하중에 이르면 구조물강성행렬은 0이 된다. 즉, 구조물강성행렬의 행렬식이 0이 될 때 구조물은 임계하중에 이르게된다.

$$\det. \begin{vmatrix} 4(\beta+1) - \frac{2}{15}(\alpha+1)\lambda & -6(\beta+1) & \frac{1}{10}(\alpha+1)\lambda \\ -6(\beta+1) & 12(\beta+1) & 0 \\ \frac{1}{10}(\alpha+1)\lambda & 0 & \frac{6}{5}(\alpha+1)\lambda \end{vmatrix} = 0$$

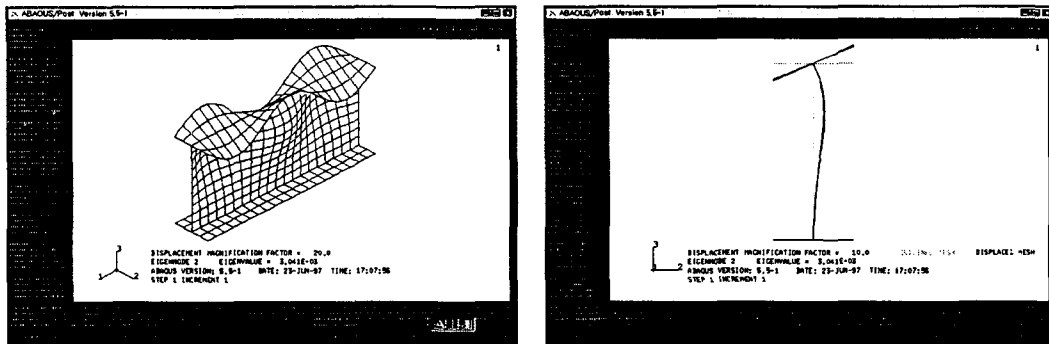
$\alpha$ 와  $\beta$ 는 상수이므로 윗식을  $\lambda$ 에 대해 풀면,  $\lambda = \frac{120}{17} \frac{(1+\beta)}{(1+\alpha)}$ 가 되며 이것을  $\lambda = \frac{P I^2}{EI}$ 에 대입하면 구조물의 임계하중을 구할 수 있다.

$$P_{cr} = 7.059 \frac{(1+\beta)}{(1+\alpha)} \frac{EI}{I^2}$$

위에서 구한 임계좌굴하중은 [그림 1]에서의 수직부재의 임계좌굴하중이며 수직부재가 좌굴을 일으켜 변형하게되면 이와 강결된 수평부재도 변형을 일으키므로 구조물 전체의 임계좌굴하중이기도 하다. 여기서,  $\beta$ 가 증가할수록, 즉 수평부재의 강성이 증가할수록 수직부재의 임계좌굴하중은 증가하게 되며,  $\alpha$ 가 증가할수록, 즉 수평부재에 작용하는 하중이 커질수록 수직부재의 임계좌굴

하중은 작아지는 것을 알 수 있다. 그러므로 [그림 1]과 같이 구조물을 구성하고 있는 부재들이 동시에 압축응력을 받게될 때, 그 구조물의 좌굴은 각각의 부재들의 강성과 그 부재들에 작용하는 하중에 따라 영향을 받게되는데, 이러한 현상을 “상호좌굴(Interactive Buckling)”이라한다.

이와같이 I형 거더가 휨응력을 받게되면 플랜지와 복부판에 동시에 압축응력이 작용하게 되어 좌굴에 대한 강성이 저하되게 된다. 즉, 플랜지에 가해지는 압축응력으로 인해 플랜지의 강성이 저하되어 복부판의 좌굴에 영향을 미치게 되며, 복부판에 가해지는 압축응력으로 인해 복부판의 강성이 저하되어 플랜지의 좌굴에 영향을 미치게되는 것이다. 즉, 휨응력을 받는 I형 거더에서 플랜지의 좌굴과 복부판의 좌굴은 서로 영향을 미치게 되는 상호좌굴로서 전체 I형 거더의 좌굴이 발생하게 되는 것이다. 플랜지와 복부판이 동시에 좌굴을 일으키는 I형 거더의 국부휨좌굴형상을 [그림 3]에 나타내었다.



[그림 3] 휨하중을 받는 I형 거더의 국부휨좌굴형상

### 3. 유한요소해석

#### 3.1 해석모델 및 경계조건

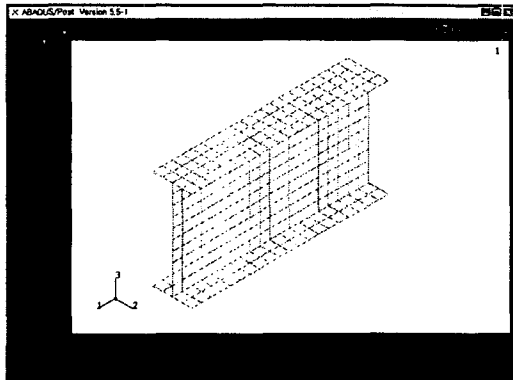
본 연구를 수행하기 위한 해석모델의 제원과 경계조건을 <표 1>과 <표 2>에 실었으며 [그림 4]에는 범용프로그램인 ABAQUS를 사용한 해석 모델의 형상, [그림 5]에는 해석모델 및 경계조건을 위한 그림을 나타내었다. 재료의 특성치인 탄성계수는  $2.04 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2$ 을 사용하였으며 포아송비는 0.3을 사용하였다.

<표 1> 해석모델의 제원

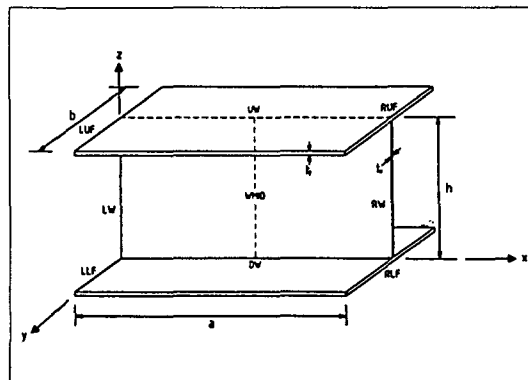
복부판 높이/플랜지 폭	h/b=2	h/b=2.5	h/b=3
복부판 높이(h)'	80cm	100cm	120cm
길이(a)	160cm	200cm	240cm
플랜지 폭방향 요소수	4	4	4
복부판 높이방향 요소수	8	10	10
길이방향 요소수	16	20	20
플랜지 세장비(b/2t <sub>f</sub> )	5~27.5		
복부판 세장비(h/t <sub>w</sub> )	24~200		
플랜지 폭(b)	40cm		

<표 2> 경계조건

	x	y	z	$\theta_x$	$\theta_y$	$\theta_z$
LW, RW	F	R	R	R	R	F
LUF, LLF, RUF, RLF	F	R	R	R	F	R
UW, DW	F	R	F	F	F	F
WMID	R	F	F	F	F	F
R : 자유도 구속 F : 자유도가 구속되지 않았음						



[그림 4] 해석모델의 형상



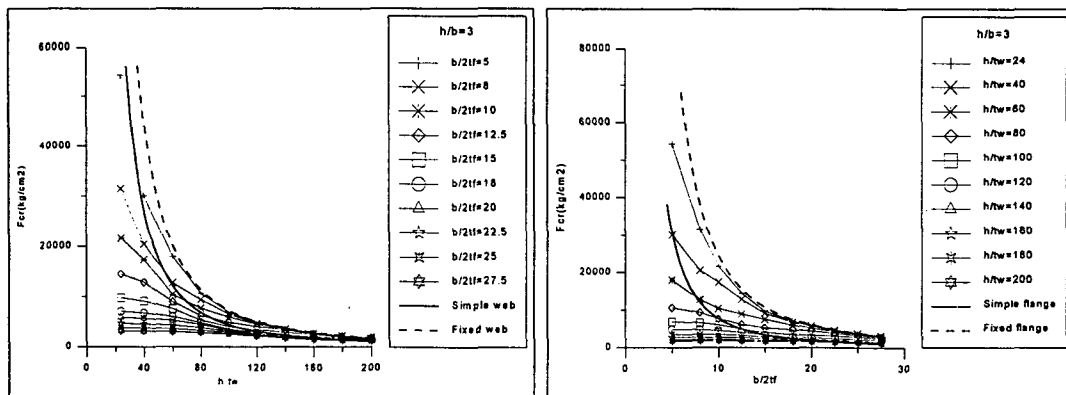
[그림 5] 해석 모델 및 경계조건을 위한 그림

### 3.2 해석결과 및 분석

#### (1) 플랜지의 세장비( $b/2t_f$ )와 복부판의 세장비( $h/t_w$ )에 따른 임계좌굴응력의 변화

[그림 6]을 보면 I형 거더의 임계좌굴응력이 단순지지일때의 플랜지나 복부판의 이론적 임계좌굴응력보다도 더 작게 나오는 부분이 있음을 알 수 있다. 이는 복부판의 세장비에 비해 플랜지의 세장비가 상대적으로 커질수록 I형 거더의 좌굴은 플랜지의 좌굴이 크게 영향을 미쳐 이때 복부판은 단순지지일때의 임계좌굴응력보다 더 작은 응력하에서도 좌굴을 일으킬 수 있음을 의미하며, 마찬가지로 플랜지의 세장비에 비해 복부판의 세장비가 상대적으로 커질수록 복부판의 좌굴이 플랜지의 좌굴에 크게 영향을 미치게 되어, 이때 플랜지는 단순지지일때의 임계좌굴응력보다 더 작은 응력하에서도 좌굴을 일으킬 수 있음을 의미한다. 본 연구에서는 전자의 경우를 “플랜지 지배형 상호좌굴”, 후자의 경우를 “복부판 지배형 상호좌굴”이라 표현하여 I형 거더의 국부좌굴에 대한 거동특성을 연구하였다.

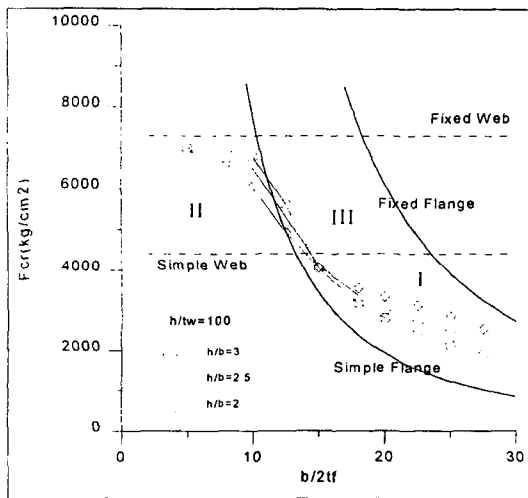
본 연구의 결과 복부판의 세장비대 플랜지의 세장비의 비, 즉  $(h/t_w)/(b/2t_f)$ 가 7이하일때는 “플랜지 지배형 상호좌굴”이 발생하며  $(h/t_w)/(b/2t_f)$ 가 8.89이상일때는 “복부판 지배형 상호좌굴”이 발생함을 알 수 있다. “플랜지-복부판 동시 지배형 상호좌굴”영역인  $(h/t_w)/(b/2t_f)$ 가 7에서 8.89사이에서는  $(h/t_w)/(b/2t_f)$ 가 7에 가까워질수록 플랜지는 단순지지, 복부판은 고정지지일때의 임계좌굴응력값을 가지게 되며 8.89에 가까워질수록 반대의 경향을 보이게 된다.



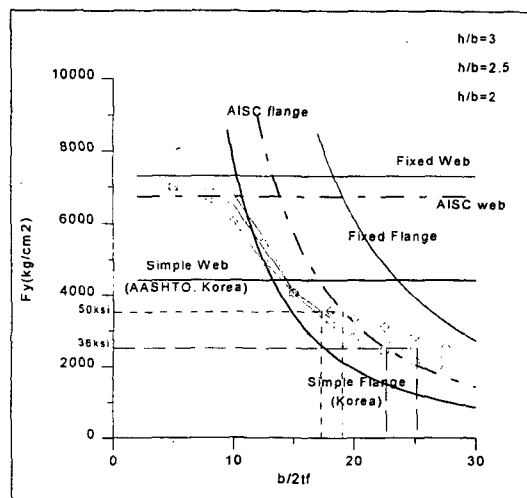
[그림 6] 단순지지일때와 고정지지일때의 복부판과 플랜지의 이론적 임계좌굴응력과의 비교

(2) 복부판 높이대 플랜지 폭의 비(h/b)에 따른 임계좌굴응력의 변화

[그림 7]에서는 복부판 높이대 플랜지 폭의 비(h/b)에 따른 I형 거더의 임계좌굴응력의 변화를 살펴 보았다. 여기서 I은 “플랜지 지배형 상호좌굴”영역, II는 “복부판 지배형 상호좌굴”영역, 그리고 III은 “플랜지-복부판 동시지배형 상호좌굴”영역을 나타내며, 각 영역에서의 I형 거더의 임계좌굴응력은 h/b에 따라 다른값을 보임을 알 수 있다. 즉, “플랜지 지배형 상호좌굴”영역에서는 같은 세장비를 가지는 플랜지라 하여도 h/b가 커질수록 임계좌굴응력은 증가하게 된다. 이는 같은 세장비를 가지는 플랜지라 하여도 플랜지의 폭에 비해 복부판의 높이가 상대적으로 커지게 되면 플랜지의 단면적에 비해 복부판의 단면적이 상대적으로 커지게 되므로, 플랜지의 좌굴에 영향을 미치는 복부판의 강성이 상대적으로 증가하게 되어 플랜지의 임계좌굴응력이 증가하게 되는 것이다. 이때, 플랜지의 좌굴에 크게 영향을 받는 복부판의 좌굴수행능력도 증가하게 되므로 전체 I형 거더의 임계좌굴응력이 증가하게 되는 것이다. 이와 마찬가지로 “복부판 지배형 상호좌굴”영역에서는 h/b가 작아질수록 임계좌굴응력이 증가함을 알 수 있다.



[그림 7] h/b에 따른 임계좌굴응력의 변화



[그림 8] 설계규정과의 비교(h/tw=100)

4. 설계규정과의 비교

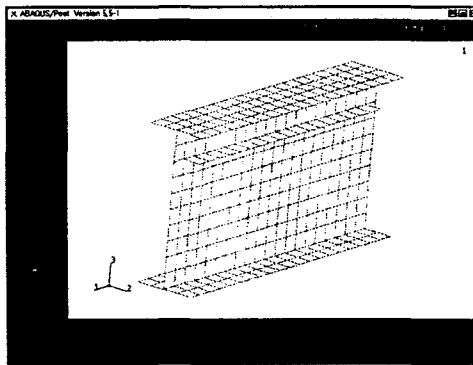
[그림 8]에서는 부재의 항복응력에 따른 플랜지와 복부판의 최대세장비, 달리 표현하면 플랜지와 복부판의 최대세장비에 따른 부재의 항복응력에 대한 설계규정과 본 연구의 해석결과를 비교하였다. 먼저 복부판의 경우를 보면 복부판의 세장비가 100일 때 [그림 8]에서와 같이 부재의 항복응력은 각 설계규정에 따라 AISC web, Simple web(AASHTO, Korea)과 같은 직선으로 나타나게 되는데, 본 연구의 해석결과에서 이들 직선의 하단부에서는 부재가 항복에 이르기 전에 먼저 좌굴을 일으키며 상단부에서는 위로 올라갈수록 부재의 항복응력보다 임계좌굴응력이 더 커지게 된다. 즉, 부재의 항복응력과 임계좌굴응력의 차이가 크다는 것은 그만큼 과다설계를 유발할 가능성이 있음을 말해준다. 플랜지의 경우도 마찬가지로 플랜지에 대한 설계규정의 하단부에서는 부재가 항복응력에 도달하기 전에 먼저 임계좌굴응력에 도달하여 좌굴을 일으키게 되며 상단부로 갈수록 부재의 임계좌굴이 항복응력에 비해 매우 커지게 된다.

예를 들어 부재의 항복응력이 50ksi일 때 AISC에서는 플랜지의 최대세장비를 19로 제한하고 있으나 본 연구의 해석결과에서는 플랜지의 최대세장비는 15정도의 값을 가진다. 그러나 항복응력이 36ksi인 경우 AISC에서는 플랜지의 최대세장비가 22.5인 반면, 본 연구의 해석결과에서는 25이상

이 됨을 알 수 있다. 따라서, 본 연구의 해석결과와 비교해볼 때 플랜지와 복부판의 상호작용을 고려하지 않은 현재 설계규정은 불안전설계를 초래할 수도 있으며 또한, 과다설계를 유발할 가능성도 있는 것이다.

### 5. 수평보강재로 인한 I형 거더의 좌굴수행능력의 증가

I형 거더의 설계에 있어서 복부판의 좌굴수행능력을 증가시키기 위해 수평보강재를 부착하게 된다. 수평보강재의 위치는 일반적으로 압축력을 받는 플랜지로부터 복부판 높이의 1/5되는 지점이다. 본 연구에서는 이러한 위치를 그대로 적용하였으며 수평보강재의 강성은 도로교표준시방서(1996)에서 제시한 값을 사용하였다. [그림 9]에는 수평보강재가 있는 I형 거더의 모델형상을 나타내었으며 <표 3>에는 수평보강재가 없는 경우에 비해 보강재가 있을때의 좌굴수행능력의 증가정도를 부재의 세장비에 따라 나타내었다.



[그림 9] 보강재가 있는 모델형상

$\frac{b/2t_f}{h/t_w}$	27.5	25	22.5	20	18	15	12.5	10	8	5
200	36.4	34.4	30.5	53.0	52.1	51.7	50.7	47.9	41.6	53.0
180	35.1	36.4	34.2	32.7	34.6	44.0	49.2	50.9	51.5	52.3
160	33.8	35.1	36.3	33.9	32.4	37.4	46.7	50.0	51.0	51.9
140	31.9	45.9	35.3	36.3	34.8	31.9	41.4	48.7	50.8	52.0
120	27.9	31.4	34.0	35.5	35.9	33.8	32.1	45.3	51.0	53.5
100	18.5	23.5	29.8	33.6	35.4	35.8	32.4	33.0	48.4	56.7
80	16.0	17.5	21.2	25.9	30.8	35.6	35.9	31.2	28.7	55.8
60	17.2	17.4	18.7	20.2	21.7	27.1	35.6	36.7	31.7	33.5

<표 3> 보강재로 인한 좌굴수행능력의 증가(%)

<표 3>의 밝은 부분은 “플랜지 지배형 상호좌굴”영역이며 어두운 부분은 “복부판 지배형 상호좌굴”영역이다. <표 3>으로부터 복부판의 세장비대 플랜지의 세장비,  $(h/t_w)/(b/2t_f)$ 가 10보다 작을 때에는 “플랜지 지배형 상호좌굴”을 일으키며, 10보다 클 때에는 “복부판 지배형 상호좌굴”을 일으킴을 알 수 있다. 수평보강재가 없는 경우에는  $(h/t_w)/(b/2t_f)$ 가 7보다 작을 때에는 “플랜지 지배형 상호좌굴”을 나타내며, 8.89보다 클 때 “복부판 지배형 상호좌굴”을 나타내게 된다. 즉, 수평보강재가 있는 경우 더 큰  $(h/t_w)/(b/2t_f)$ 에서 “플랜지 지배형 상호좌굴”과 “복부판 지배형 상호좌굴”이 일어나게 된다. 예를 들어 “복부판 지배형 상호좌굴”은 이미 언급하였듯이 플랜지의 세장비에 비해 복부판의 세장비가 상대적으로 커질수록 복부판의 좌굴이 플랜지의 좌굴에 크게 영향을 미쳐 플랜지는 단순지지일때의 임계좌굴응력보다도 더 작은 응력하에서 좌굴을 일으키는 것을 의미하는데, 수평보강재로 인해 그 상대적인 값이 더욱 증가되었다는 의미이다. 다시 말하면 수평보강재가 없는 경우에는 복부판의 세장비가 플랜지의 세장비의 7배보다 커지면 “복부판 지배형 상호좌굴”이 발생하게 되나 수평보강재가 있는 경우에는 복부판의 세장비가 플랜지의 세장비의 10배가 되어야 “복부판 지배형 상호좌굴”이 발생하게되는 것이다. 이것은 수평보강재로 인해 복부판의 좌굴수행능력이 증가되었으므로 나타나는 결과라 할수 있다.

수평보강재의 부착위치와 강성에 따라 좌굴수행능력의 증가정도는 달라질 수 있으나 본 연구의 해석모델을 사용한 결과 부재의 세장비에 따라 16~57%의 증가정도를 보임을 알 수 있다. 수평보강재로 인해 복부판의 좌굴수행능력이 증가함은 당연한 사실이나 수평보강재로 인해 전체 I형 거더의 좌굴수행능력이 증가되었음은 복부판뿐만이 아니라 플랜지의 좌굴수행능력도 증가되었음을 의미한다. 즉, I형 거더의 국부좌굴에 있어서 플랜지와 복부판은 동시에 좌굴을 일으키게 되므로 플랜지의 좌굴이 복부판의 좌굴에 영향을 미치며 복부판의 좌굴이 플랜지의 좌굴에 영향을 미치

게된다. 그러므로 수평보강재로 인해 복부판의 좌굴수행능력이 증가하게 되면 복부판의 좌굴에 영향을 받는 플랜지의 좌굴수행능력도 증가하게 되는 것이다.

## 6. 결 론

- (1) 플랜지와 복부판의 접합부의 경계조건은 단순지지도, 고정지지도 아닌 탄성적으로 지지된 상태인데 플랜지와 복부판의 상대적인 세장비에 따라 그 경계조건이 달라지게 된다. 그리고, 플랜지와 복부판의 상호작용의 영향으로 인해 플랜지와 복부판은 단순지지일때의 좌굴응력보다 더 작은 응력하에서도 좌굴을 일으킬 수 있음을 알 수 있다.
- (2) I형 거더의 플랜지-복부판 상호좌굴에 영향을 미치는 요소는 플랜지의 세장비와 복부판의 세장비뿐만 아니라 복부판의 세장비에 플랜지의 폭의 비도 포함된다. 즉, 같은 세장비라하여도 플랜지와 복부판의 상대적인 강성에 따라 I형 거더의 좌굴수행능력이 달라지게 된다.
- (3) 본 연구의 해석결과를 플랜지와 복부판의 상호작용을 고려하지 않은채 사용하고 있는 국부좌굴설계규정과 비교해보면 현재 설계규정은 불안전 설계와 과다설계를 동시에 유발할 가능성이 있음을 알 수 있다. 그러므로, 본 연구의 해석결과를 바탕으로하여 I형 거더의 국부좌굴에 대한 설계에 있어서 플랜지-복부판의 상호작용을 고려한 더욱 합리적인 식이 제시되어야 한다고 사료된다.
- (4) 수평보강재가 있는 경우, 복부판의 좌굴수행능력은 크게 증가되며, 이때 플랜지와 복부판이 함께 좌굴을 일으키는 I형 거더의 좌굴수행능력은 증가하게 된다. 그러나, 현재 사용하고 있는 플랜지에 대한 국부좌굴설계에서는 복부판에 부착된 수평보강재의 역할은 고려하고 있지 않다. 그러므로, 복부판의 수평보강재의 역할을 고려하여 전체 I형 거더의 국부좌굴 설계에 적용한다면 더욱 합리적인 설계가 이루어질 수 있다고 사료된다.

## <참고문헌>

1. 건설교통부, "도로교 표준 시방서", 1996
2. AASHTO, Standard Specifications for Highway Bridges, ASD and LFD, 15th ed., 1992
3. ABAQUS manual(1993), Version 5.3, Hibbitt, Karlsson, & Sorenson, Inc.
4. Charles G. Salmon and John E. Johnson, Steel Structures, 3rd ed. Harper & Row, 1990
5. John L. Dawe and Geoffrey L. Kulak, "Local Buckling of W Shape Columns and Beams," Journal of Structural Engineering, 110, 6(June, 1984), pp. 1292-1304
6. Peter B. Cooper, "Strength of Longitudinally Stiffened Plate Girders," Journal of the Structural Division, ASCE, 93, ST2 (April 1967), pp.419-451
7. Peter B. "Cooper Theodore V. Galambos, and Mayasandra K. Ravindra, "LRFD Criteria for Plate Girders," Journal of Structural Engineering, 104, ST9 (September 1978), pp.1389-1407