

## 더블앵글로 접합된 골조의 수평처짐

### Story Drift of a Frame with Column Flange Bolted-Beam Web Welded Double Angle Connections

양재근\*                      김호근\*\*                      김기환\*\*  
Yang, Jae-Guen              Kim, Ho-Keun                  Kim, Ki-Hwan

#### Abstract

Frame is one of the most commonly used structural systems for the resistance of applied loads. Many researchers have recently conducted their studies to investigate the effect of several parameters such as the connection flexibility, boundary condition of each support, beam-to-column stiffness ratio. These parameters play important roles on the characteristic behavior of frames.

A simplified spring model is proposed to obtain the story drifts of frames with various beam-to-column connection stiffnesses in this research. A point bracing system with adequate spring stiffness is also suggested to establish the relationship between the applied load and the resisting translational spring stiffness within the limit state of story drift.

*keywords : double angle connections, frame, story drift, point braced frame*

## 1. 서론

더블 앵글접합부는 중·저층 골조의 보-기둥 접합방식의 하나로서 시공의 용이성 및 경제성의 이유로 주로 사용되고 있다. 일반적인 철골구조물의 보-기둥 접합부는 강절점과 활절점으로 이상화하여 구조설계에 적용되고 있으나 실제 구조물의 거동은 다양한 변수에 의하여 상이한 거동을 나타내므로 이에 대한 정확한 규명없이 구조물의 최적설계를 기대할 수 없다.

본 연구에서는 보-기둥 접합부의 다양한 회전강성을 이용하여 보-기둥 강성비 및 지점조건을 변수로 하여 보와 기둥이 더블앵글로 접합된 골조의 거동을 파악하고자 한다. 보-기둥 접합부의 회전강성은 이미 실험된 자료를 토대로 하여 진행하였다. 골조의 거동을 파악하기 위하여 골조의 단일기둥 양끝에 이동 및 회전이 가능한 스프링을 갖는 이상화된

단순해석모델을 제안하였다. 이 제안된 단순해석모델을 이용하면 구조물의 수평처짐이  $h/400$  이상의 값을 갖기 시작하는 하중을 알 수 있고, 처짐이  $h/400$  이하가 될 수 있도록 이동 및 회전 스프링 강성값도 알 수 있다.

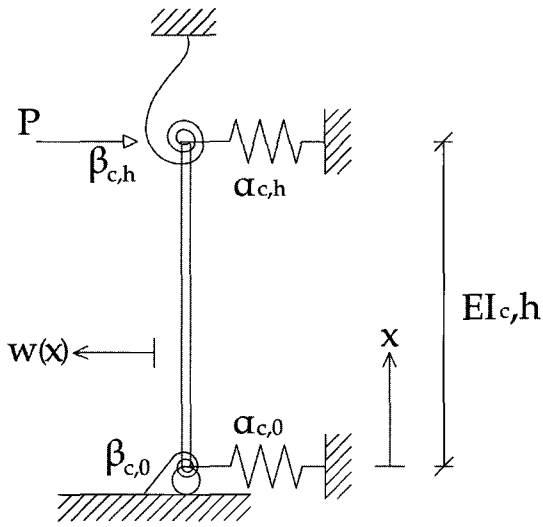
## 2. 단순해석모델

수직하중 및 수평하중을 받는 골조에 대한 그간의 연구는 골조의 보강의 유무에 따라서 좌굴하중, 유효 좌굴길이 계수, P- $\Delta$  효과, 수평처짐 등을 포함하는 거동 변화에 초점이 맞추어 진행되었다. 골조의 해석을 위해서는 처짐각법, 변분법, 미분 방정식법 등을 포함하는 다양한 해석법이 사용되었다.<sup>[2,3,4,12]</sup>

골조에 수평하중이 작용하면 수평하중에 의하여 골조에는 수평처짐이 발생하고 과도한 수평처짐은 골조의 안정성에도 영향을 줄 수 있다. 수평하중을 받는 골조의 거동을 파악하기 위해서 본 연구에서는

\* 인하대학교 건축학부 조교수, 공학박사

\*\* 인하대학교 건축공학과 석사과정



<그림 1> 골조의 단순 해석모델

<그림 1>과 같은 단순 해석모델을 제안하였다. 보와 기둥의 접합부 회전강성 및 골조의 수평지지 강성은 기둥 부재 상부의 회전 스프링과 이동 스프링으로 이상화하여 대체하였다. 또한, 각 지점에서의 회전 강성 및 이동강성은 기둥 부재 하부의 회전 스프링과 이동 스프링으로 이상화하여 대체하였다. 해석모델에서의 기둥의 단면 2차 모멘트는  $I_c = \sum_{i=1}^N (I_{f,c})_i$  와 같이 골조 기둥 부재의 단면 2차 모멘트,  $I_{f,c}$ 의 합으로 나타낼 수 있다. 여기서,  $N$ 은 골조를 구성하는 기둥 부재의 개수이다.

2.1 평형방정식과 일반해 :

$$EI_c w^{IV}(x) = 0 \tag{1}$$

$$w(x) = A_1 + A_2 x + A_3 x^2 + A_4 x^3 \tag{2}$$

2.2 경계조건 :

$$EI_c w''(0) - \beta_{c,0} w'(0) = 0 \tag{3}$$

$$EI_c w'''(0) + \alpha_{c,0} w(0) = 0 \tag{4}$$

$$EI_c w''(h) + \beta_{c,h} w'(h) = 0 \tag{5}$$

$$EI_c w'''(h) - \alpha_{c,h} w(h) - P = 0 \tag{6}$$

위의 경계조건을 적용하면 (2)식의 변수들을 얻고, 따라서 골조의 수평처짐,  $w(x)$ 는 (7)식과 같이 된다.

$$w(x) = \left[ \frac{-12(\beta_o + \beta_o \beta_h h + \beta_h)k^2}{D} \right] + \left[ \frac{-6\alpha_o h(2 + \beta_h h)k^2}{D} \right] x + \left[ \frac{-3\alpha_o \beta_o h(2 + \beta_h h)k^2}{D} \right] x^2 + \left[ \frac{2\alpha_o(\beta_o + \beta_o \beta_h + \beta_h)k^2}{D} \right] x^3 \tag{7}$$

여기서,

$$\alpha_o = \frac{\alpha_{c,0}}{EI_c} \tag{8}$$

$$\beta_o = \frac{\beta_{c,0}}{EI_c} \tag{9}$$

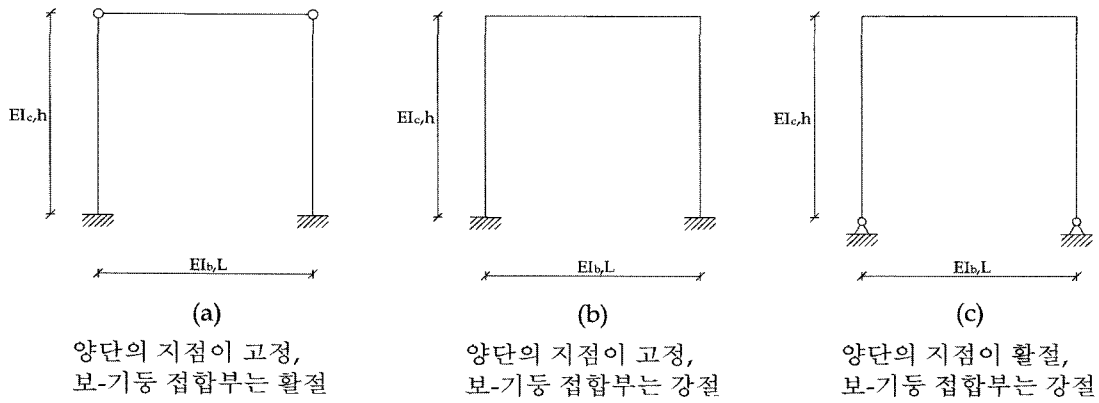
$$\alpha_h = \frac{\alpha_{c,h}}{EI_c} \tag{10}$$

$$\beta_h = \frac{\beta_{c,h}}{EI_c} \tag{11}$$

$$k^2 = \frac{P}{EI_c} \tag{12}$$

$$D = (12\alpha_o \beta_o + 4\alpha_o \alpha_h \beta_o h^3 + 12\alpha_o \beta_o \beta_h h + \alpha_o \alpha_h \beta_o \beta_h h^4 + 12\alpha_o \beta_h + 4\alpha_o \alpha_h \beta_h h^3 + 12\alpha_o \alpha_h h^2 + 12\alpha_h \beta_o + 12\alpha_h \beta_o \beta_h h + 12\alpha_h \beta_h) \tag{13}$$

제안된 해석모델의 타당성을 입증하기 위하여 <그림 2>와 같은 지점조건 및 절점조건을 갖는 보강안된( $\alpha_h = 0$ ) 골조의 수평처짐을 먼저 고찰하였다. 수평처짐에 관한 최종 식들의 음의 부호는 골조의 수평처짐이 작용하중의 방향과 같이 오른쪽으로 발



〈그림 2〉 다양한 지점조건 및 절점조건을 갖는 골조

생함을 의미한다. <그림 2(a)>와 같이 양단의 지점이 고정, 보-기둥 접합부는 활절인 경우, 해석모델의 스프링 강성값은  $\alpha_0 = \infty, \beta_0 = \infty, \alpha_h = 0, \beta_h = 0$  이다. 이 값들을 (7)식에 대입하면, 매개변수  $A_i, (i=1 \sim 4)$ 와 골조의 수평처짐은 아래와 같이 된다.

$$A_1 = A_2 = 0 \quad (14)$$

$$A_3 = -\frac{Ph}{2EI_c} \quad (15)$$

$$A_4 = \frac{P}{6EI_c} \quad (16)$$

$$w(h) = -\frac{Ph^3}{3EI_c} = -\frac{Ph^3}{6EI_{f,c}} \quad (17)$$

양단의 지점이 고정, 보-기둥 접합부는 강절인 <그림 2(b)>의 골조를 대체하는 해석모델의 스프링 강성값은  $\alpha_0 = \infty, \beta_0 = \infty, \alpha_h = 0, \beta_h = 12i/L$  이다. 여기서,  $i = I_b/I_c$  로 보와 기둥의 단면 2차 모멘트 비를 나타낸다. 이 값들을 (7)식에 대입하면, 매개변수  $A_i, (i=1 \sim 4)$ 와 골조의 수평처짐은 아래와 같이 된다.

$$A_1 = A_2 = 0 \quad (18)$$

$$A_3 = -\frac{Ph(LI_c + 6I_bh)}{2EI_c(LI_c + 12I_bh)} \quad (19)$$

$$A_4 = \frac{P}{6EI_c} \quad (20)$$

$$w(h) = -\frac{Ph^3(LI_c + 3I_bh)}{3EI_c(LI_c + 12I_bh)} = -\frac{Ph^3(2LI_{f,c} + 3I_bh)}{6EI_{f,c}(LI_{f,c} + 6I_bh)} \quad (21)$$

양단의 지점은 활절, 보-기둥 접합부는 강절인 <그림 2(c)>와 같은 골조 해석모델의 스프링 강성값은  $\alpha_0 = \infty, \beta_0 = 0, \alpha_h = 0, \beta_h = 12i/L$  이다. 이 값들을 (7)식에 대입하면, 매개변수  $A_i, (i=1 \sim 4)$ 와 골조의 처짐은 아래와 같이 된다.

$$A_1 = A_3 = 0 \quad (22)$$

$$A_2 = -\frac{Ph(LI_c + 6I_bh)}{12EI_bI_c} \quad (23)$$

$$A_4 = \frac{P}{6EI_c} \quad (24)$$

$$w(h) = -\frac{Ph^2(LI_c + 4I_bh)}{12EI_bI_c} = -\frac{Ph^2(LI_{f,c} + 2I_bh)}{12EI_bI_{f,c}} \quad (25)$$

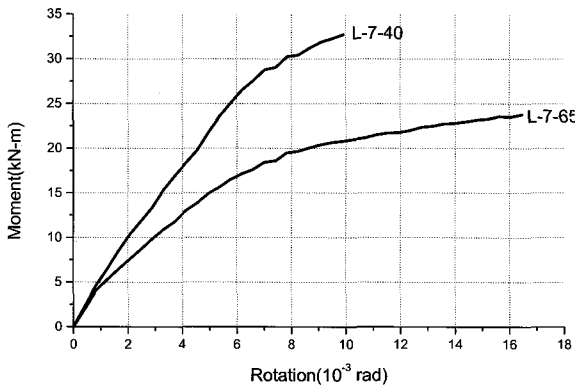
단순 해석모델의 적용을 통하여 얻은 수평처짐을 구하는 (17)식, (21)식, (25)식은 그간의 연구결과와 정확히 일치한다.<sup>[7,19]</sup> 따라서, 제안된 해석모델은 골

조의 수평처짐을 고찰하는데 적절한 것이 입증되었다.

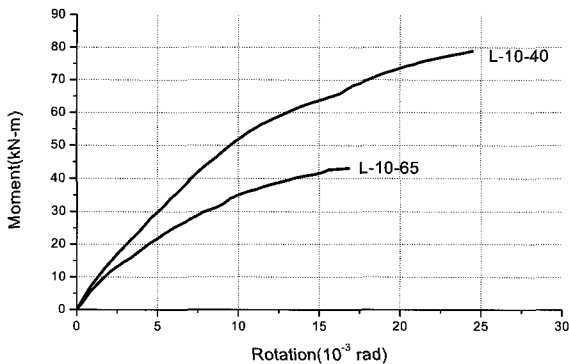
### 3. 더블앵글 접합부의 회전강성

더블 앵글 접합부는 앵글의 두께 및 길이, 볼트의 직경 및 개수, 볼트 게이지 거리 등 여러 가지 변수에 의하여 상이한 회전강성 값을 제공한다.<sup>[6,11,15,21]</sup> 본 연구에서는 접합부의 회전강성을 얻기 위하여 이미 수행된 실험결과를 이용하였다. <그림 3>과 같은 캔틸레버 보 실험은 앵글의 두께( $t = 7\text{ mm}, 10\text{ mm}$ )와 볼트 게이지 거리( $g_1 = 40\text{ mm}, 65\text{ mm}$ )만을 변수로 선택하여 진행되었다.<sup>[9,10,22]</sup>

실험을 통하여 더블 앵글 접합부의 모멘트-회전각 관계 곡선을 <그림 3>과 같이 얻었고, R. M. Richard가 제안한 식(26)을 이용하여 곡선의 회귀분석을 수행하였다.<sup>[16,17]</sup> 회귀분석을 통하여 더블 앵글 접합부의 거동 변화에 중요한 영향을 미치는 초기강성을 <표 1>과 같이 얻었다. <표 1>의 접합부 초기



(a) 앵글 두께가 7mm인 경우



(b) 앵글 두께가 10 mm인 경우

<그림 3> 더블앵글 접합부 실험결과 모멘트-회전각 곡선

<표 1> 더블앵글 접합부의 회귀분석 결과

시험체	$K_e$ (kN·m/rad)	$\beta_h$
L-7-65	4,841.2	0.022
L-7-40	5,576.2	0.054
L-10-65	6,232.8	0.040
L-10-40	7,663.6	0.076

강성,  $K_e$ 를 이용하면 해석모델의 접합부 초기 회전강성,  $\beta_h = K_e/EI_c$ 이므로 보-기둥 강성비 ( $i = I_b/I_c$ )  $i = 0.780$ 일 경우는  $\beta_h = 0.022, 0.054, 0.044, 0.076$ 를 얻었다.

$$M(\theta) = \frac{(K_e - K_p)\theta}{\left(1 + \left|\frac{(K_e - K_p)\theta}{M_0}\right|^n\right)^{1/n}} + K_p\theta \quad (26)$$

여기서, M: 모멘트

$\theta$ : 회전각

$K_e$ : 초기강성 (initial stiffness)

$K_p$ : 소성강성 (plastic stiffness)

$M_0$ : 참조모멘트 (reference moment)

$n$ : 곡선행태변수 (curve sharpness parameter)

### 4. 단순 해석모델의 적용

앵글 두께 및 볼트 게이지 거리를 변수로 선택한 더블 앵글 접합부의 실험을 통하여 접합부의 초기 회전강성,  $\beta_h$ 를 얻었다. 이를 이용하여 양단의 지점이 고정되고 수평이동이 허용된 골조 ( $\alpha_0 = \infty, \beta_0 = \infty, \alpha_h = 0$ )의  $\beta_h$ 의 변화에 따른 수평처짐 식을 구하면 아래와 같다.

$$w(h) = -\frac{Ph^3(2000 + 11h)}{24EI_{f,c}(500 + 11h)}, \beta_h = 0.022 \quad (27)$$

$$w(h) = -\frac{Ph^3(2000 + 27h)}{24EI_{f,c}(500 + 27h)}, \beta_h = 0.054 \quad (28)$$

$$w(h) = -\frac{Ph^3(100 + h)}{24EI_{f,c}(25 + h)}, \beta_h = 0.040 \quad (29)$$

$$w(h) = -\frac{Ph^3(1000 + 19h)}{24EI_{f,c}(250 + 19h)}, \beta_h = 0.076 \quad (30)$$

그리고, 양단의 지점이 활절인 골조 ( $\alpha_0 = INF$ ,  $\beta_0 = 0, \alpha_h = 0$ )의  $\beta_h$ 의 변화에 따른 수평처짐 식은 다음과 같다.

$$w(h) = -\frac{Ph^2(1500 + 11h)}{66EI_{f,c}}, \beta_h = 0.022 \quad (31)$$

$$w(h) = -\frac{Ph^2(500 + 9h)}{54EI_{f,c}}, \beta_h = 0.054 \quad (32)$$

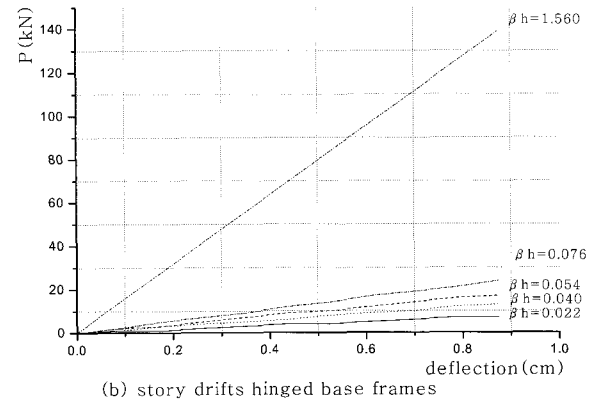
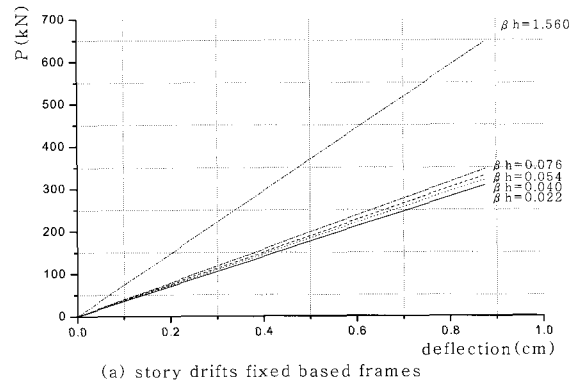
$$w(h) = -\frac{Ph^2(75 + h)}{6EI_{f,c}}, \beta_h = 0.040 \quad (33)$$

$$w(h) = -\frac{Ph^2(750 + 19h)}{114EI_{f,c}}, \beta_h = 0.076 \quad (34)$$

수평하중을 받는 골조에 과도한 처짐이 발생할 경우 골조의 안정성이 영향을 받을 수 있고, 중·저층 골조의 50년주기 풍하중에 대한 처짐은  $h/400$  이하가 되도록 권장하고 있다.<sup>[3,14]</sup>  $h = 3.5m, L = 6m, i = 0.780$ 인 골조의 경우,  $\beta_h$ 의 변화에 따른 수평처짐이  $h/400$  이하가 되기 위한 최대 작용하중을 구하여 정리하면 <표 2>와 같다. <그림 4>는 지점이 양단 고정 및 양단 활절인 골조의 보-기둥 접합부의 회전강성,  $\beta_h$ 의 변화에 따른 수평처짐의 변화를 나타낸다. <표 2> 및 <그림 4>와 같이 골조의 수평처짐은 동일한 하중을 받는 경우에 더블 앵글 접합부의 회전강성,  $\beta_h$ 가 증가할 경우 감소함을 나타낸다.

<표 2> 수평처짐 제한을 위한 최대 작용하중

골조의 지점조건	$\beta_h$	최대 작용하중, $P_{max}(kN)$
양단 고정	0.022	307.86
	0.054	330.79
	0.040	320.91
	0.076	345.85
양단 활절	0.022	7.29
	0.054	17.27
	0.040	12.99
	0.076	23.73



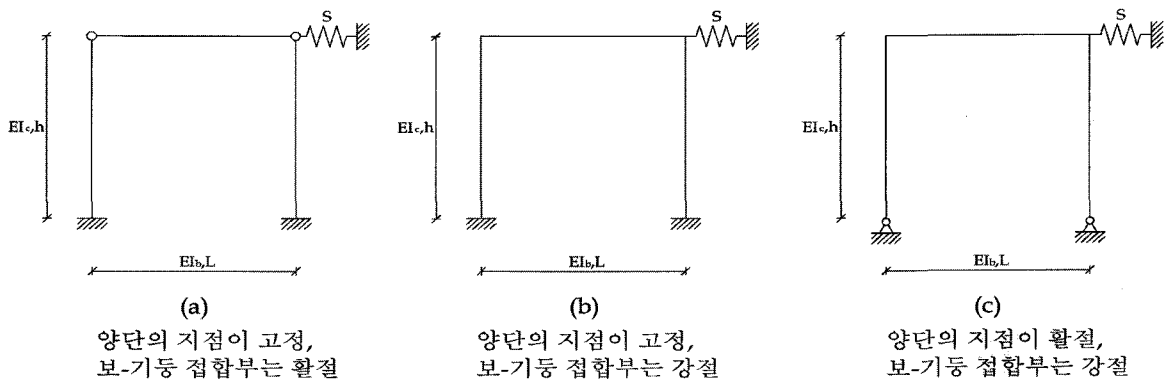
<그림 4> 다양한 보-기둥 접합부 강성을 갖는 골조의 수평처짐

하지만,  $\beta_h$ 의 변화보다는 지점조건에 따른 영향을 더 받는 것으로 나타났다.

만약 골조에 작용하는 하중,  $P \geq P_{max}$  인 경우는 골조에 과도한 처짐이 발생할 우려가 있다. 특히 골조의 지점이 모두 활절인 경우는 작은 하중의 증가에도 골조가 불안정하게 될 수 있으므로 이를 방지하기 위하여 골조를 보강할 필요가 있다.

### 5. 골조의 보강

골조에 과도한 처짐이 발생하여 안정성에 영향을 주는 경우는 골조를 보강하여야 한다. 본 연구에서는 골조의 다양한 보강 방법 중에서 <그림 5>와 같은 절점 보강 방법을 선택하여 수평처짐을 조절하였다.<sup>[1,20]</sup> 골조의 오른쪽 모서리에 임의의 강성,  $S = K/EI_c$ 을 갖는 스프링이 설치된 절점 보강 구조의 거동은 제안한 단순 해석모델을 적용하면 쉽게 파악할 수 있다.



<그림 5> 절점 보강된 골조

<그림 5(a)>와 같은 양단의 지점이 고정이고, 보와 기둥 접합부는 활절인 경우를 고찰해 보면 절점 보강된 골조의 스프링 강성 값은  $\alpha_0 = \infty$ ,  $\beta_0 = \infty$ ,  $\alpha_h = S = K/EI_c$ ,  $\beta_h = 0$ 이다. 이를 해석모델 식에 대입하여 정리하면 아래와 같은 (35)식이 된다. 또한, <그림 5(b)>의 양단의 지점이 고정이고, 보와 기둥 접합부는 강절인 경우, 절점 보강된 골조의 스프링 강성 값은  $\alpha_0 = \infty$ ,  $\beta_0 = \infty$ ,  $\alpha_h = S = K/EI_c$ ,  $\beta_h = 12i/L$ 이고, 이를 이용하면 식(36)의 처짐을 얻을 수 있다. 마찬가지로, 양단의 지점은 활절이고, 보와 기둥 접합부는 강절인 <그림 5(c)>의 경우, 절점 보강된 골조의 스프링 강성 값은  $\alpha_0 = \infty$ ,  $\beta_0 = 0$ ,  $\alpha_h = S = K/EI_c$ ,  $\beta_h = 12i/L$ 이다. 따라서 처짐은 아래의 (37)식과 같이 된다.

$$w(h) = -\frac{Ph^3}{(6EI_{f,c} + Kh^3)} \quad (35)$$

$$w(h) = -\frac{Ph^3(2LI_{f,c} + 3I_b h)}{12EI_{f,c}(LI_{f,c} + 6I_b h) + Kh^3(2LI_{f,c} + 3I_b h)} \quad (36)$$

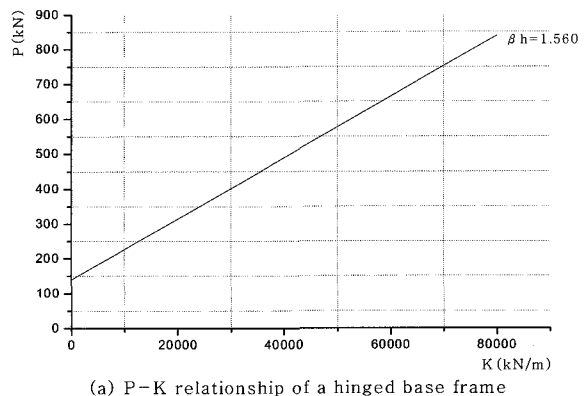
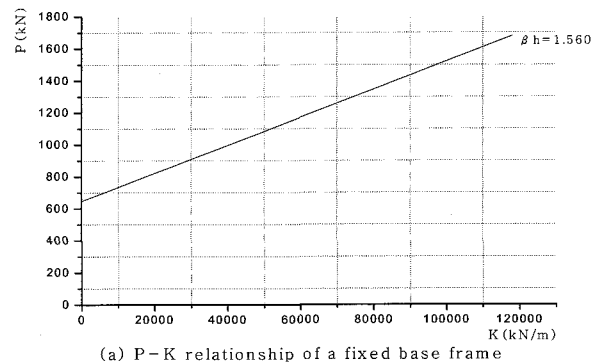
$$w(h) = -\frac{Ph^2(LI_{f,c} + 2I_b h)}{12EI_b I_{f,c} + Kh^2(LI_{f,c} + 2I_b h)} \quad (37)$$

만약  $h = 3.5m$ ,  $L = 6m$ ,  $i = 0.780$ 인 경우, 그림 6의 골조에 작용하는 하중이 각각  $P = 291.35kN$ ,  $645.86kN$ ,  $138.80kN$ 보다 크면 위의 식(35)~식(37)을 이용하여 구한 처짐이  $h/400$ 이하가 되기 위하여서는  $K > 0$ 이 되어야 한다. <그림 2>의 골조에 수평

하중이 작용하는 경우, 골조의 소성해석으로부터 극한하중은 모두 패널 붕괴 메카니즘(panel mechanism)에 의하여 아래와 같이 결정된다.<sup>[5,13]</sup>

$$P_u = \frac{4M_p}{h} = \frac{4 \times 1497.4}{3.5} = 1678.3 \text{ kN, 양단고정} \quad (38)$$

$$P_u = \frac{2M_p}{h} = \frac{2 \times 1497.4}{3.5} = 839.1 \text{ kN, 양단활절} \quad (39)$$



<그림 6> 절점 보강 골조의 처짐을 만족시키기 위한 K의 변화

<그림 6>은  $P_u \geq P \geq P_{max}$  인 경우 절점 보강된 골조의 처짐이  $h/400$  이하가 되기 위한  $K$ 의 변화를 나타낸다.

보-기둥 접합부 회전강성,  $\beta_h$ 의 변화에 따른 양단 고정된 절점 보강 골조의 수평처짐은 아래의 식들을 이용하여 구할 수 있다.

$$w(h) = -\frac{Ph^3(2000 + 11h)}{24EI_{f,c}(500 + 11h) + kh^3(2000 + 11h)}, \beta_h = 0.022 \quad (40)$$

$$w(h) = -\frac{Ph^3(2000 + 27h)}{24EI_{f,c}(500 + 27h) + kh^3(2000 + 27h)}, \beta_h = 0.054 \quad (41)$$

$$w(h) = -\frac{Ph^3(100 + h)}{24EI_{f,c}(25 + h) + kh^3(100 + h)}, \beta_h = 0.040 \quad (42)$$

$$w(h) = -\frac{Ph^3(1000 + 9h)}{24EI_{f,c}(250 + 19h) + kh^3(1000 + 19h)}, \beta_h = 0.076 \quad (43)$$

그리고, 양단의 지점이 활절인 절점 보강 골조의  $\beta_h$ 의 변화에 따른 수평처짐 식은 다음과 같다.

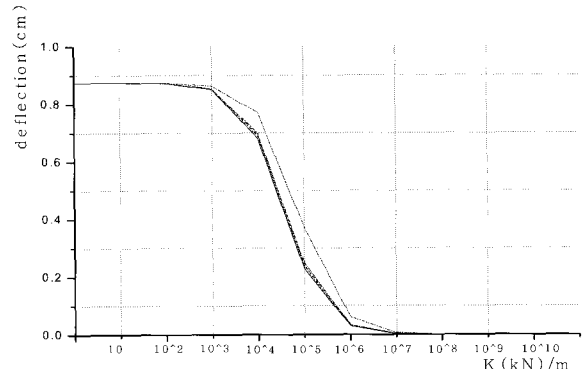
$$w(h) = -\frac{Ph^2(1500 + 11h)}{66EI_{f,c} + kh^2(1500 + 11h)}, \beta_h = 0.022 \quad (44)$$

$$w(h) = -\frac{Ph^2(500 + 9h)}{54EI_{f,c} + kh^2(500 + 9h)}, \beta_h = 0.054 \quad (45)$$

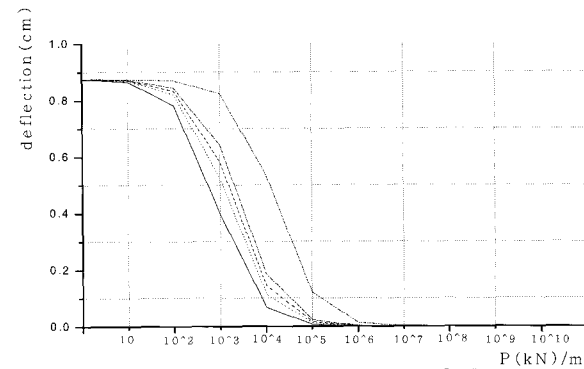
$$w(h) = -\frac{Ph^2(75 + h)}{6EI_{f,c} + kh^2(75 + h)}, \beta_h = 0.040 \quad (46)$$

$$w(h) = -\frac{Ph^2(750 + 19h)}{114EI_{f,c} + kh^2(750 + 19h)}, \beta_h = 0.076 \quad (47)$$

절점 보강된 골조에 <표 2>의 하중보다 큰 하중이 작용하는 경우는 과대한 처짐 방지를 위하여 이동 스프링 강성,  $K > 0$ 이어야 한다. <그림 7>은 작용하중,  $P = P_{max}$  일 때 지점이 양단 고정 및 양단 활절인 절점 보강 골조의 보-기둥 접합부의 회전강성,  $\beta_h$ 의 변화 및 이동 스프링 강성,  $K$ 의 증가에 따른 수평처짐을 나타낸다. 양단이 고정인 경우에는  $K \rightarrow 10^3$ 에 접근하면서 처짐이 급격히 감소하기 시작하여  $K \rightarrow 10^7$ 에 접근하면 처짐이 거의 발생하지

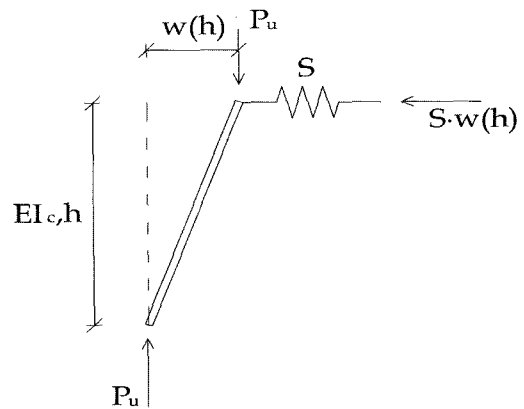


(a) story drifts of fixed base frames at  $P = P_{max}$



(b) story drifts of hinged base frames at  $P = P_{max}$

<그림 7>  $P = P_{max}$  일 때  $K$ 의 증가에 따른 수평처짐



<그림 8> 재축방향의 하중을 받는 절점 보강 골조

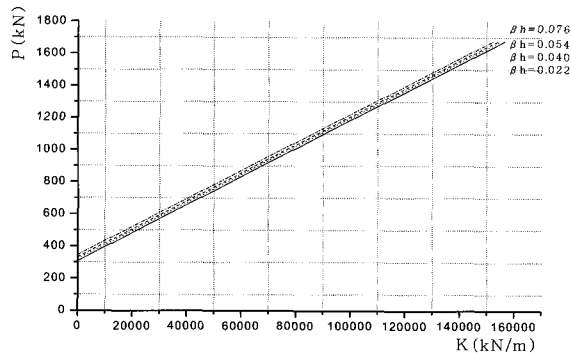
않는다. 그리고, 양단이 활절인 경우에는  $K \rightarrow 10^2$ 을 지나면서 처짐이 급격히 감소하기 시작하여  $K \rightarrow 10^6$ 을 넘으면서 처짐이 거의 발생하지 않는다.

기둥의 재축 방향으로 <그림 8>과 같이 극한하중,  $P_u$ 를 받는 절점 보강 골조는 아래의 식과 같이 충분한 강성,  $K_{req'd}$ 과 강도,  $P_{brace}$ 를 갖는 스프링 부재로 지지되어야 한다.<sup>[8,18]</sup>

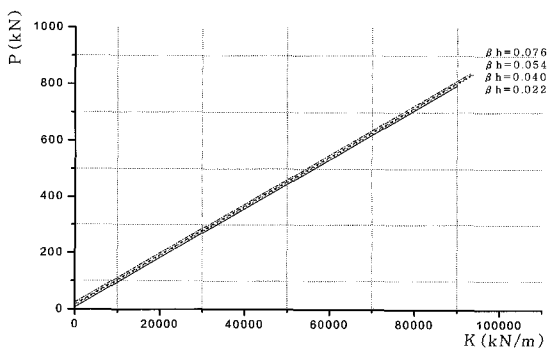
$$K_{req'd} = \frac{8 P_u}{h} \tag{48}$$

$$P_{brace} = 0.008 P_u \tag{49}$$

그러나, 수평하중을 받는 더블 앵글 접합부로 보-기둥이 연결된 골조의 필요강성  $K_{req'd}$ 는 각각의 접합부 강성의 변화에 따라서 변하므로, 절점 보강 스프링 강성은 <그림 9>의  $P-K$ 의 관계 곡선의 회귀 분석을 통해서 <표 3>과 같이 얻을 수 있다. <그림 9>와 <표 3>에서와 같이 보-기둥 접합부의 회전강성이 증가할수록 동일한 작용하중에 대하여 작은  $K$ 의 값을 갖고, 하중이 증가함에 따라서 골조의 처짐이  $h/400$  이하가 되기 위해서는  $K$ 의 값도 증가하여야 한다.



(a) P-K relationship of a fixed base frame with various



(b) P-K relationship of a hinged base frame with various

<그림 9> 절점 보강 골조의 처짐을 만족시키기 위한  $K$ 값의 변화

### 5. 결 론

본 연구에서는 더블 앵글 접합부를 사용한 골조

의 거동을 고찰하기 위하여 단순 해석모델을 제안하였고, 이러한 해석모델을 사용하면 절점 보강된 골조의 거동도 쉽게 파악할 수 있다. 제안된 단순 해석 모델 및 식을 기존의 식들과 비교·검토하여 타당성을 입증하였고, 아래와 같은 결론을 얻었다.

- 1) 제안한 단순 해석모델 및 식을 이용하면 다양한 접합부 강성과 지점조건을 갖는 골조의 처짐이  $h/400$  이하가 되도록 하는 최대 작용하중,  $P_{max}$ 를 <표 2>와 같이 구할 수 있다.
- 2) 골조에 작용하는 수평하중,  $P$ 가  $P_u \geq P \geq P_{max}$ 인 경우는 과도한 수평처짐을 방지하기 위하여 보강이 필요하다. 절점 보강된 골조의 경우는 본 연구에서 제시한  $P-K$  곡선의 회귀분석을 통하여 처짐이  $h/400$  이하가 되도록 하는 관계식을 <표 3>과 같이 제안하였다.
- 3) 골조의 처짐과 최대 작용하중,  $P_{max}$ 는 보-기둥 접합부의 회전강성,  $\beta_h$ 의 변화보다는 지점조건에 따른 영향을 더 많이 받는 것으로 나타났다. 즉,  $\beta_0 = \infty$ 인 골조는  $\beta_0 = 0$ 인 골조보다는 최고 약 42배 이상의  $P_{max}$  값을 갖는다.
- 4) 본 연구에서 고찰한 더블 앵글 접합부는, <표 2>와 <그림 3>의 비교를 통해서,  $P = P_{max}$ 인 경우에도 충분한 접합부 저항능력을 갖고 있어 파괴에 이르지 않는다. 따라서, 골조는 수평처짐 제한 조건에 의하여 거동이 제약을 받는다.

<표 3> 절점보강 골조의 수평하중 변화에 따른 P-K의 회귀분석 식

골조의 지점조건	$\beta h$	회귀분석 식
양단 고정	0.022	$K = -35183.9 + 114.3(P)$
	0.054	$K = -37804.2 + 114.3(P)$
	0.040	$K = -36675.3 + 114.3(P)$
	0.076	$K = -39525.9 + 114.3(P)$
양단 활절	0.064	$K = -833.2 + 114.3(P)$
	0.118	$K = -1973.4 + 114.3(P)$
	0.162	$K = -1484.6 + 114.3(P)$
	0.224	$K = -2711.9 + 114.3(P)$



## 참 고 문 헌

1. Bruneau, M., Uang, C. M., Whittaker, A., Ductile design of steel structures. McGraw-Hill, 1998.
2. Chen, W. F., Joint flexibility in steel frames. Elsevier Applied Science, 1987.
3. Chen, W. F., Kim, S. E., LRFD steel design using advanced analysis. CRC Press, 1997.
4. Chen, W. F., Lui, E. M., Stability design of steel frames. CRC Press, 1991.
5. Chen, W. F., Sohal, I., Plastic design and second-order analysis of steel frames. Springer-Verlag, 1995.
6. De Stefano, M., Astaneh, A., Axial force-displacement behavior of steel double angles. J Construct Steel Res 1991; 20: pp.161-81.
7. Englekirk, R., Steel structures: controlling behavior through design. John Wiley & Sons, 1994.
8. Galambos, T. V., editor. Guide to stability design criteria for metal structures, 5th ed. John Wiley & Sons, 1998.
9. Hong, K., Yang, J. G., Lee, S.K., Moment-rotation behavior of double angle connections subjected to shear load. Struct Eng 2002; 24: pp.125-32.
10. Hong, K., Yang, J. G., Lee, S. K., Parametric study of double angle framing connections subjected to shear and tension. J Construct Steel Res 2001; 57: pp.997-1013.
11. Kishi, N., Chen, W. F., Moment-rotation relationship of semirigid connections with angles. J Struct Engng 1990; 116: pp.1813-34.
12. Lorenz, R. F., Kato, B., Chen, W. F., editors. Semi-rigid connections in steel frames. CTBUH. McGraw-Hill, 1992.
13. Neal, B. G., The plastic methods of structural analysis, 3rd ed. Chapman & Hall, 1997.
14. Newman, A., Metal building systems: design and specifications. McGraw-Hill, 1997.
15. Owens, G. W., Moore, D. B., The robustness of simple connections. Struct Eng 1992; 70: pp.37-46.
16. Richard, R. M., Abbott, B. J., Versatile elastic-plastic stress-strain formula. J Eng Mech Div, ASCE 1975; 101(EM4): pp.511-5.
17. Richard, R. M., Hsia, W. K., Chmielewicz, M., Derived moment rotation curves for double framing angles. Comput & Struct 1988; 30: pp.485-94.
18. Salmon, C. G., Johnston, J. E., Steel structures: design and behavior, 4th ed. Harper Collins, 1996.
19. Schueller, W., The design of building structures. Prentice Hall, 1996.
20. Smith, B. S., Coull, A., Tall building structures: analysis and design. John Wiley & Sons, 1991.
21. Thornton, W. A., Strength and ductility requirements for simple shear connections with shear and axial load. In: Proc of the AISC National Steel Construction Conference, AISC, Chicago, 1997: 38/1-38/17.
22. Yang, J. G., Murray, T. M., Plaut, R. H., Three-dimensional finite element analysis of double angle connections under tension and shear. J Construct Steel Res 2000; 54: pp.227-44.