

# 인장측 보플랜지의 항복선 모델을 이용한 CFCT기둥-H형강보 접합부의 국부내력평가

Estimation of the Local Load-Carrying Capacities of CFCT  
Column to H-Beam Connections by Yield Line Model  
-With regard to the Tensile side of Beam flange-

강현식<sup>1)</sup> 문태섭<sup>2)</sup>  
Kang, Hyun Sik Moon, Tae Sup

요약 : 본 연구는 콘크리트 충전형 원형강관에 H형강보를 사용한 접합부의 내력을 항복선이론을 이용하여 구하였다. 3가지 유형의 항복선 모델이 제시되어 있다. 첫째는 단순화된 모델이며, 두 번째는  $x$ 와  $kx$ 로 수정된 모델이다. 나머지 하나는 모리타모델이다. 각 경우의 이론치와 실험치가 비교되었으며, 궁극적으로는 콘크리트 충전 원형강관기둥 접합부의 보강법을 연구하여 다이아프램이 없는 콘크리트 충전강관 기둥-H형강보 접합부의 개발을 위한 기초자료를 제시하는 것을 목적으로 하고 있다.

ABSTRACT : This paper is concerned with a theoretical study on the local load-carrying capacities of Concrete-Filled Circular Tubular(CFCT) column to H-beam connections by yield line theory. In this paper, the three cases which are assumed the yield line are involved. The first model is a simplified yield line model. The second model is modified by  $x$  and  $kx$  factors. The last one is a Morita's model. The local load-carrying capacities of CFCT column to H-beam connections has been studied both experimentally and theoretically using the yield line theory. The purpose of this paper is to suggest the basic data for developing the non-diaphragm connection.

핵심용어 : 콘크리트충전 원형강관 기둥, 다이아프램이 없는 접합부, 항복선모델

KEYWORDS : CFCT Column, Non Diaphragm Connections, Yield Line Model

1) 정회원, 한양대학교 STRESS 연구조교수, 공학박사  
2) 정회원, 한양대학교 건축공학과 교수, 공학 박사, 포항  
제철(주) 석좌교수

본 논문에 대한 토의를 1999년 3월 31일까지 학회로 보내  
주시면 토의 회답을 게재하겠습니다.

## 1. 서 론

다이아프램 보강 형식의 접합 방식은 보충이 서로 다른 H형강이 접합될 때 접합방법이 복잡해지고 플랜지 두께와 림스티프너의 두께가 다를 경우에도 어려움이 있다. 따라서 본 연구에서는 충전형 원형강관에 H형강보를 사용한 접합부 모델 실험을 통해 도출된 결과<sup>(1,2,3,4)</sup>와 항복선 이론을 이용하여 접합부 국부내력의 추정을 위한 기초자료를 제시하고 궁극적으로는 원형강관 접합부의 보강법을 연구하여 다이아프램이 없는 콘크리트 충전강관 기둥-H형강보 접합부의 개발을 위한 기초자료를 제시하고자 한다.

## 2. 항복선 이론에 의한 국부내력 추정

### 2.1 항복선 이론의 기본가정

접합부에 관하여 이론적, 해석적 방법으로 고찰하는 데에는 수치해석적인 방법의 하나로서 유한요소법 등을 이용할 수 있지만, 콘크리트충전강관 기둥 접합부의 경우에는 콘크리트와 강관의 접착면에서 나타나는 현상들을 고려하여 유한요소법에 적용시키기란 용이한 일이 아니다. 따라서 실험결과를 토대로 접합부의 국부내력을 추정하기 위한 항복선 이론의 기본가정(5)을 아래와 같이 설정한다.

- ① 항복선은 직선이다.
- ② 항복선을 따라 일정한 전소성모멘트( $m_p$ )가 발생한다.
- ③ 분할요소(segment)간의 소성처짐은 무시한다.
- ④ 강판(Plate)은 등질이며 두께 또한 일정하다.
- ⑤ 최저파괴하중과 관련된 붕괴기구를 최적붕괴 패턴으로 산정한다.

위와 같은 항복선이론의 기본개념 및 가정을 도입하여 실험결과와 비교하여 보고 그 적용여부와 타당성을 검토하여 본다. 항복선이론의 적용은

기본개념에서도 알 수 있듯이 내력평가는 가능하나 접합부의 구조적 거동에 있어서 중요한 강성문제에 대해서는 평가가 불가능 하다는 단점도 가지고 있다.

### 2.2 항복선의 모델링

#### 2.2.1 CASE-1(단순 모델)

그림 1과 같이 간단한 항복선을 가정하고 접합부의 국부내력을 식 (1)~(4)의 과정을 거쳐서 실험치와 비교하여 본다.

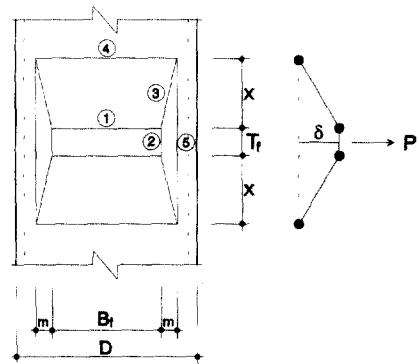


그림 1. 단순 모델

$$W_e = W_i \text{ 조건에 의해}$$

$$P = 4 \cdot \left\{ \frac{B_f + 2m}{x} + \frac{T_f + 2x}{m} \right\} \cdot m_p \quad (1)$$

여기서 최적의 붕괴 계수(Optimum Collapse Coefficient)  $K = \left( \frac{B_f + 2m}{x} + \frac{T_f + 2x}{m} \right)$ 의 극치값을 찾기 위해서  $x$ 로 편미분을 하면

$$\frac{\partial K}{\partial x} = \frac{-(B_f + 2m)}{x^2} + \frac{2}{m} = 0 \quad (2)$$

$$x = \sqrt{\frac{m(B_f + 2m)}{2}} \quad (3)$$

$x$ 를 (1)식에 대입하면

$${}_eP_y = \left\{ \frac{B_f + 2m}{\sqrt{\frac{m(B_f + 2m)}{2}}} + \frac{T_f + 2\sqrt{\frac{m(B_f + 2m)}{2}}}{m} \right\} \cdot 4m_b$$

$$m_b = t_c^2 \cdot \sigma_y / 4 \quad (4)$$

식(4)에서 두 개의 변수  $T_f$  와  $m$ 의 값을 강관두께( $t_c$ )의 일정 배수로 변화시켜 가면서 실험치에 가까운 최소파괴하중( ${}_eP_y$ )을 구하여 표 1, 표 2에 실험치와 함께 나타냈다. 또한 그림 2에는 단순두께증복형에 대한 무차원화한 실험치와 이론치의 관계, 그림 3은 종리브 보강형에 대한 무차원화한 실험치와 이론치의 관계를 나타냈다.

표 1. 실험치와 이론치의 비교 (CASE-1, N-TYPE)

시험체	${}_eP_y$ (ton)	${}_eP_{y1}$ (ton)	${}_eP_{y2}$ (ton)	${}_eP_{y3}$ (ton)	${}_eP_y / {}_eP_{y1}$	${}_eP_y / {}_eP_{y2}$	${}_eP_y / {}_eP_{y3}$
CN5-A	31.01	29.19	21.74	16.00	1.06	1.42	1.93
CN5CF	35.58	26.40	20.38	15.25	1.34	1.74	2.33
CN9-A	48.35	84.08	51.59	34.90	0.57	0.93	1.38
CN9CF	61.12	101.78	65.53	45.47	0.60	0.93	1.34
CN9-C	71.16	97.32	64.83	45.79	0.73	1.09	1.55
CN12-B	69.33	187.37	102.89	66.83	0.37	0.67	1.03
CN12-C	79.36	196.92	112.44	74.67	0.40	0.70	1.06
CN15CF	73.44	232.56	114.67	71.18	0.31	0.64	1.03

$${}_eP_{y1} : T_f = 16t_c + t_f, m = 0.7t_c$$

$${}_eP_{y2} : T_f = 1.56\sqrt{at_c}, a = (D - t_c)/2, m = 0.7t_c$$

$${}_eP_{y3} : T_f = t_f, m = t_c$$

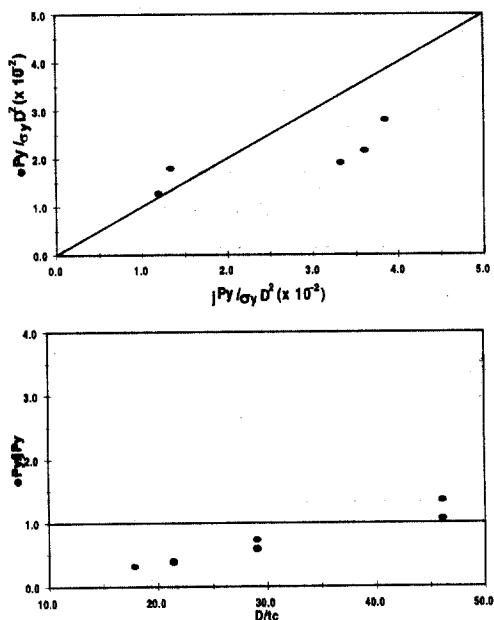
### 2.2.1.1 실험치와 이론치의 비교

#### (1) 단순두께증복형(N-TYPE)

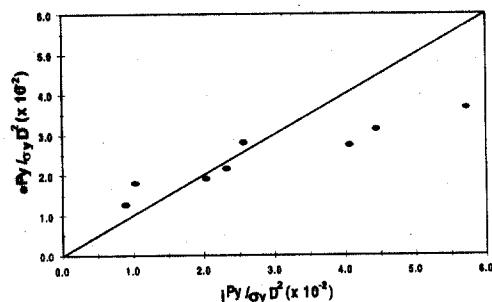
표 1, 그림 2에서 나타난 바와 같이 항복선 이론을 이용하여 구한 국부항복하중 이론치와 단순두께증복형 실험치와의 비교에서  $D/t_c = 46$ 인 시험체의 경우,  $T_f = 16t_c + t_f, m = 0.7t_c$ 로 가정하였을 때  $1.06 \leq {}_eP_y / {}_eP_{y1} \leq 1.34, D/t_c = 29$ 인 시험체의

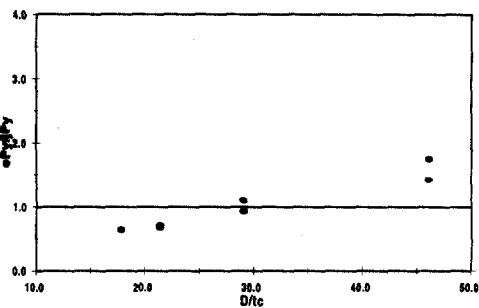
경우는  $T_f = 1.56\sqrt{at_c}, a = (D - t_c)/2, m = 0.7t_c$ 로 가정하였을 때  $0.98 \leq {}_eP_y / {}_eP_{y1} \leq 1.09, D/t_c = 21$ 이하인 시험체의 경우는  $T_f = t_f, m = t_c$ 로 가정하였을 때  $1.03 \leq {}_eP_y / {}_eP_{y1} \leq 1.06$ 의 분포로 보아 강관의 지름-두께비에 따라서 변수를 조정하여 적용하면 국부항복하중의 이론치로 사용할 수 있다.

또한 강관의 두께가 감소함에 따라서 이론치와의 차가 크게 나타나고 있는데 이는 강관두께가 작아 휨항복하기 보다는 국부적인 전단파괴로 내력이 결정되었기 때문이라고 생각한다.

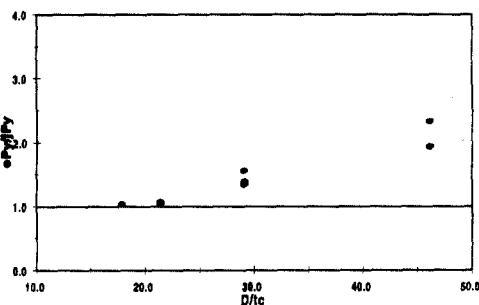
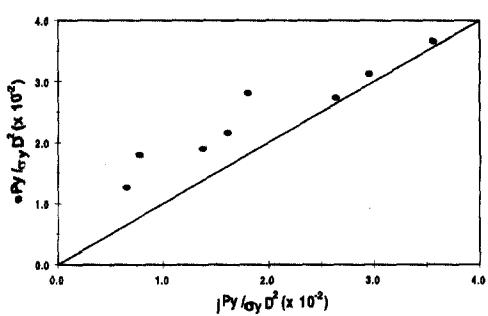


(a)  $T_f = 16t_c + t_f, m = 0.7t_c$





(b)  $T_f = 1.07\sqrt{Dt_c} + t_f, m = 0.7t_c$



(c)  $T_f = t_f, m = t_c$

그림 2. 무차원화한 실험치와 이론치의 관계 (N-TYPE)

## (2) 종리브 보강형(R-TYPE)

표 2, 그림 3에서 나타난 바와 같이 항복선 이론을 이용하여 구한 국부항복하중 이론치와 종리브 보강형 실험치를 비교하였다.  $D/t_c = 46$ 인 시험체의 경우는  $T_f = 16t_c + t_f, m = 0.7t_c$ 로 가정하였을 때  $1.20 \leq eP_y / jP_y \leq 1.53, D/t_c = 29$  일 때,  $T_f = 1.07\sqrt{Dt_c} + t_f, m = 0.7t_c$ 로 가정하였

을 때  $1.00 \leq eP_y / jP_y \leq 1.09, D/t_c = 21$  이하인 시험체의 경우는  $T_f = t_f, m = t_c$ 로 가정하였을 때  $1.04 \leq eP_y / jP_y \leq 1.15$ 의 분포로 보아 강관의 지름-두께비에 따라서 변수를 조정하여 적용하면 이론치보다 실험치가 모두 상회하기 때문에 국부항복하중의 이론치로 사용함이 가능할 것으로 본다.

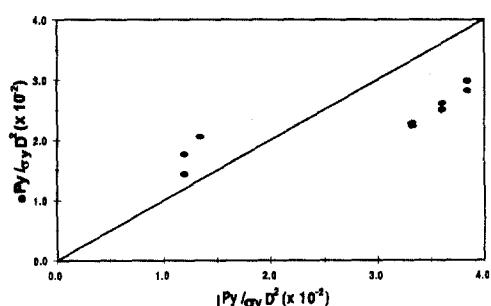
표 2. 실험치와 이론치의 비교 (CASE-1, R-TYPE)

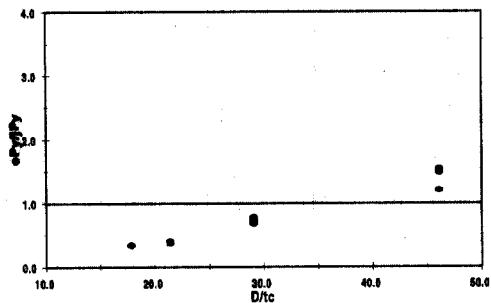
시험체	$eP_y$ (ton)	$jP_{y1}$ (ton)	$jP_{y2}$ (ton)	$jP_{y3}$ (ton)	$eP_y / jP_{y1}$	$eP_y / jP_{y2}$	$eP_y / jP_{y3}$
CO5-A	35.12	29.19	23.37	16.00	1.20	1.50	2.19
CT5-A	43.33	29.19	23.37	16.00	1.48	1.85	2.70
CR5CF	41.60	28.40	21.83	15.25	1.53	1.87	2.66
CO9-A	56.56	84.08	55.88	34.90	0.67	1.01	1.62
CT9-A	57.93	84.08	55.88	34.90	0.68	1.03	1.66
CR9CF	70.70	101.76	79.31	45.47	0.69	1.00	1.65
CT9-B	66.14	91.22	63.02	40.75	0.72	1.04	1.62
CO9-C	71.61	97.32	69.12	45.79	0.73	1.03	1.56
CT9-C	75.72	97.32	69.12	45.79	0.70	1.09	1.65
CO12-B	73.89	191.61	113.47	68.34	0.38	0.65	1.08
CT12-B	71.61	191.61	113.47	68.34	0.37	0.63	1.04
CO12-C	80.28	201.37	123.24	76.36	0.39	0.65	1.05
CT12-C	80.28	201.37	123.24	76.36	0.39	0.65	1.05
CR15CF	79.37	232.56	124.05	71.18	0.34	0.63	1.15

$$jP_{y1} : T_f = 16t_c + t_f, m = 0.7t_c$$

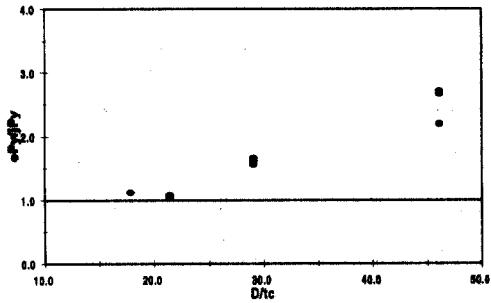
$$jP_{y2} : T_f = 1.07\sqrt{Dt_c} + t_f, m = 0.7t_c$$

$$jP_{y3} : T_f = t_f, m = t_c$$



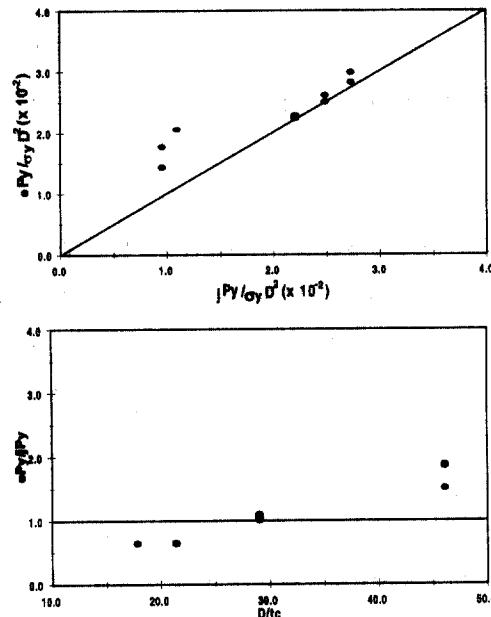


(a)  $T_f = 16t_c + t_f, m = 0.7t_c$



(c)  $T_f = t_f, m = t_c$

그림 3. 무차원화한 실험치와 이론치의 관계 (R-TYPE)



(b)  $T_f = 1.07\sqrt{Dt_c} + t_f, m = 0.7t_c$

### 2.2.2 CASE-2(수정된 항복선 모델)

그림 4와 같이 수정된 항복선을 가정하여 구한식(9)를 이용하여 콘크리트충전 강관-H형강보 접합부의 국부내력을 추정하기 위한 계수  $k$ ,  $C_f$  와 이론치를 표 3, 표 4에 실험치와 함께 나타냈다.

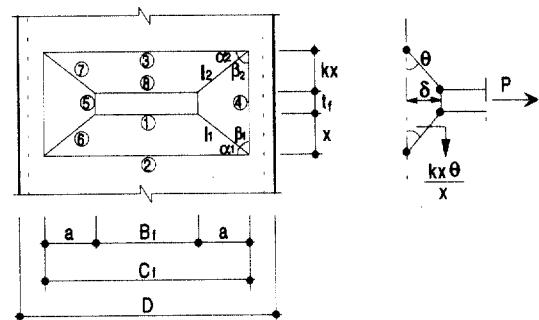


그림 4. 수정된 항복선 모델

표 3. 실험치와 이론치의 비교  
(CASE-2, N-TYPE,  $r^2 = 0.9049$ )

시험체	$k$	$x$ (cm)	$C_f$ (cm)	$e_P_y$ (ton)	$\mu P_y$	$\mu P_{max}$ (ton)	$P_y/\mu P_y$	$P_{max}/\mu P_{max}$
CN5-A	0.04	25.44	11.16	31.01	33.57	38.28	0.92	1.10
CN5CF	0.04	30.62	16.16	35.58	29.22	39.17	1.22	1.34
CN9-A	0.08	46.68	11.84	48.35	53.06	63.70	0.91	1.03
CN9CF	0.08	39.36	16.84	61.12	63.61	75.53	0.96	1.12
CN9-C	0.08	44.83	21.84	71.16	60.17	72.24	1.18	1.27
CN12-B	0.20	46.77	17.50	69.33	67.02	80.58	1.03	1.15
CN12-C	0.20	53.03	22.50	79.36	70.53	84.68	1.13	1.20
CN15CF	0.20	51.96	18.00	73.44	70.51	117.85	1.04	0.86

표 4. 실험치와 이론치의 비교  
(CASE-2, R-TYPE,  $r^2 = 0.9267$ )

시험체	$k$	$x$	$G$	$\rho_y$ (ton)	$\rho_y$ (ton)	$\rho_{max}$ (ton)	$\rho_y$ $\rho_y$	$\rho_{max}$ $\rho_{max}$
C05-A	0.03	25.44	11.16	35.12	39.37	44.90	0.89	1.15
CT5-A	0.03	25.44	11.16	43.33	39.37	44.90	1.10	1.22
CR5CF	0.03	30.62	16.16	41.60	34.33	46.02	1.18	1.29
CO9-A	0.07	33.00	11.84	56.56	56.59	67.94	1.00	1.13
CT9-A	0.07	33.00	11.84	57.93	56.59	67.94	1.02	1.09
CR9CF	0.07	39.36	16.84	70.70	67.89	80.61	1.04	1.18
CT9-B	0.07	39.36	16.84	66.14	67.89	81.51	0.97	1.07
CO9-C	0.07	21.84	44.83	71.61	64.26	77.15	1.11	1.23
CT9-C	0.07	21.84	44.83	75.72	64.26	77.15	1.18	1.28
CO12-B	0.15	46.77	17.50	73.89	74.33	85.42	0.99	1.11
CT12-B	0.15	46.77	17.50	71.61	74.33	85.42	0.96	1.10
CO12-C	0.15	53.03	22.50	80.28	78.29	89.97	1.03	1.21
CT12-C	0.15	53.03	22.50	80.28	78.29	89.97	1.03	1.19
CR15CF	0.15	51.96	18.00	79.37	78.33	130.92	1.01	0.78

$$W_i = W_1 + W_2 + W_3 + 2(W_4 + W_5 + W_6 + W_7) + W_8$$

$$= m_p \delta \left[ \frac{(k+1)(2C_f)}{kx} + \frac{4(kx+x+t_f)}{a} \right] \quad (5)$$

$$P\delta = m_p \delta \left[ \frac{(k+1)(2C_f)}{kx} + \frac{4(kx+x+t_f)}{a} \right] \quad (6)$$

$$P = m_p \left[ \frac{(k+1)(2C_f)}{kx} + \frac{4(kx+x+t_f)}{a} \right] \quad (7)$$

$\frac{dP}{dx} = 0$  를 만족하는  $x$ 값은

$$\frac{dP}{dx} = m_p \left[ -\frac{(k+1)(2C_f)}{kx^2} + \frac{4(k+1)}{a} \right] = 0$$

$$x = \sqrt{\frac{a \cdot C_f}{2k}} \quad (8)$$

$$\rho_y = \left[ \frac{2(k+1)\sqrt{2C_f}}{\sqrt{ka}} + \frac{4(k+1)\sqrt{a(kx+x+t_f)+4t_f\sqrt{k}}}{a\sqrt{k}} \right] \cdot m_p$$

$$\rho_{max} = \rho_y / Y, Y : \text{강관의 항복비} \quad (9)$$

### 2.2.2.1 실험치와 이론치의 비교

#### (1) 단순두께증복형

실험치와의 비교에서 식(9)의 변수  $k$  가 지름-두께비에 따라 변화하고 있고  $x$ 의 누승을 이용한  $k$  와 지름-두께비의 관계를 나타내는 회귀식과 상관계수를 구하여 그림 5에 나타냈다.

표 3, 그림 6, 그림 7에 나타난 바와 같이 항복선 이론을 이용하여 구한 국부항복하중 이론치와 실험치와의 비교에서  $D/t_c = 46$ 인 시험체의 경우는  $k = 0.04$ 일 때  $0.92 \leq \rho_y / \rho_{max} \leq 1.22$ ,  $D/t_c = 29$ 인 시험체의 경우는  $k = 0.08$ 일 때  $0.91 \leq \rho_y / \rho_{max} \leq 1.18$ ,  $D/t_c = 21$ 이하인 시험체의 경우는  $k = 0.2$ 로 가정하였을 때  $1.03 \leq \rho_y / \rho_{max} \leq 1.14$ 의 분포를 보이고 있다.

또한 국부최대내력의 비교에서  $D/t_c = 46$  시험체의 경우,  $k = 0.04$ 일 때  $1.10 \leq \rho_{max} / \rho_{max} \leq 1.34$ ,  $D/t_c = 29$ 인 시험체의 경우,  $k = 0.08$ 일 때  $1.03 \leq \rho_{max} / \rho_{max} \leq 1.27$ ,  $D/t_c = 21$ 이하인 시험체의 경우,  $k = 0.2$ 로 가정하였을 때  $0.86 \leq \rho_{max} / \rho_{max} \leq 1.15$ 의 분포로 보아 강관의 지름-두께비에 따라서 변수  $k$  를 조정하여 적용하면 국부항복하중의 이론치로 사용할 수 있다 고 생각한다.

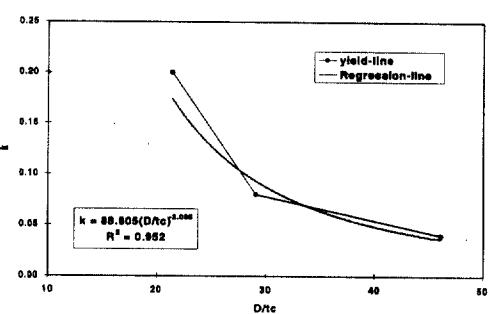
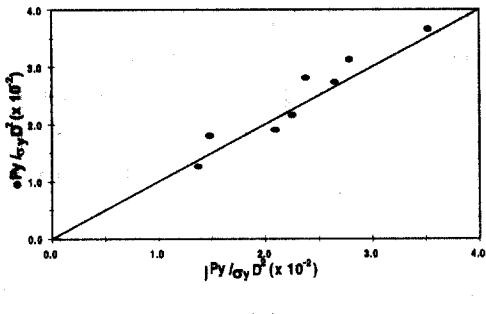
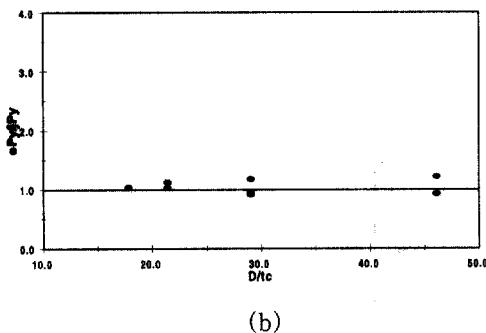


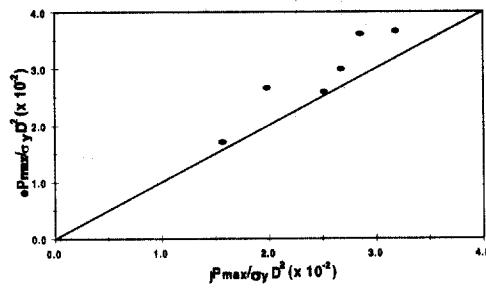
그림 5.  $k$  와 지름-두께비 관계 (CASE-2, N-TYPE)



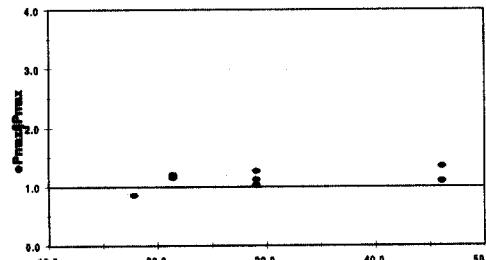
(a)



(b)

그림 6. 실험치와 이론치의 항복하중 관계  
(CASE-2, N-TYPE)

(a)

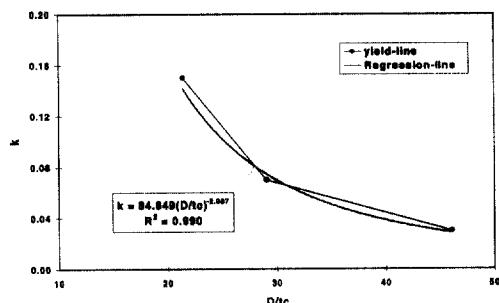


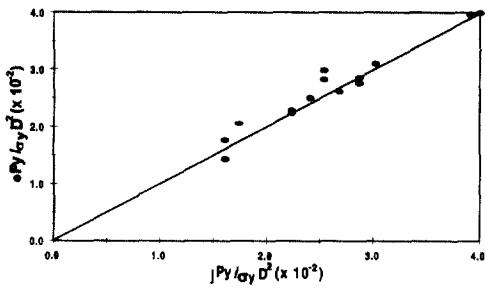
(b)

그림 7. 실험치와 이론치의 최대내력 관계  
(CASE-2, N-TYPE)

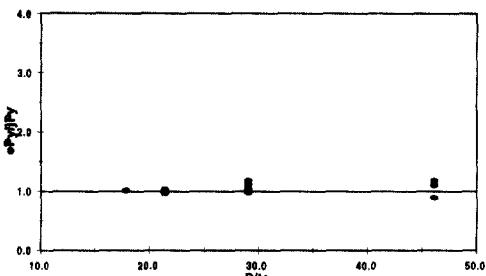
## (2) 종리브 보강형

그림 8은 변수  $k$  값과 지름-두께비 관계를 회귀식으로 표현한 것이다. 또한 표 4, 그림 9, 그림 10에 나타난 바와 같이 항복선 이론을 이용하여 구한 국부항복하중 이론치와 실험치와의 비교에서 알 수 있듯이  $D/t_c = 46$ 인 시험체의 경우는  $k = 0.03$ 일 때  $0.89 \leq eP_y/P_y \leq 1.18$ ,  $D/t_c = 29$ 인 시험체의 경우는  $k = 0.07$ 일 때  $0.97 \leq eP_y/P_y \leq 1.18$ ,  $D/t_c = 21$ 이하인 시험체의 경우는  $k = 0.15$ 로 가정하였을 때  $0.96 \leq eP_y/P_y \leq 1.03$ 의 분포를 보이고 있다. 또한 국부최대내력의 비교에서  $D/t_c = 46$  시험체의 경우,  $k = 0.03$ 일 때  $1.15 \leq eP_{\max}/P_{\max} \leq 1.29$ ,  $D/t_c = 29$ 인 시험체의 경우,  $k = 0.07$ 일 때  $1.07 \leq eP_{\max}/P_{\max} \leq 1.28$ ,  $D/t_c = 21$ 이하인 시험체의 경우,  $k = 0.15$ 로 가정하였을 때  $0.78 \leq eP_{\max}/P_{\max} \leq 1.21$ 의 분포로 보아 강관의 지름-두께비에 따라서 변수  $k$ 를 조정하여 적용하면 국부항복하중의 이론치로 사용할 수 있다 고 사료된다.

그림 8.  $k$  와 지름-두께비 관계  
(CASE-2, R-TYPE)

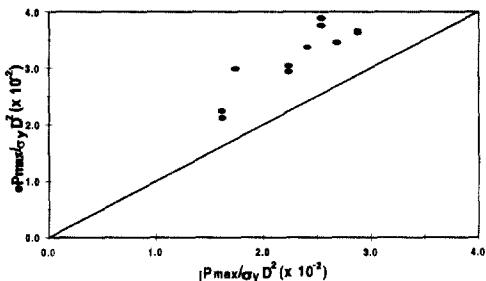


(a)

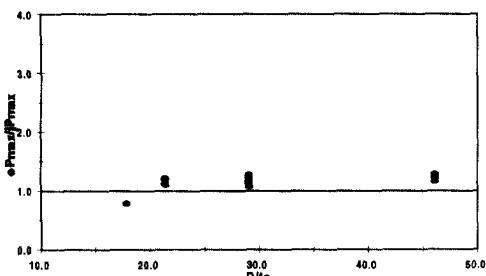


(b)

그림 9. 실험치와 이론치의 항복하중 관계  
(CASE-2, R-TYPE)



(a)



(b)

그림 10. 실험치와 이론치의 최대내력 관계  
(CASE-2, R-TYPE)

#### 2.2.4 CASE-3(Morita 모델)

그림 11과 같이 관주방향은 휨항복에 의해 항복선을 형성하고 있다고 가정하였고 관축방향은 Von Mises의 항복조건에 따라 항복한다고 가정하였다. 내부응력 및 변형은 단면 법선방향과 접선방향에 따라 분리하였고 각각에 대해서 가상일법으로 구하였다. 그리고 용접부를 고려한 보폭과 판두께를 이용하고 있으며 국부내력 평가식<sup>6)</sup>은 식(10)과 같다.

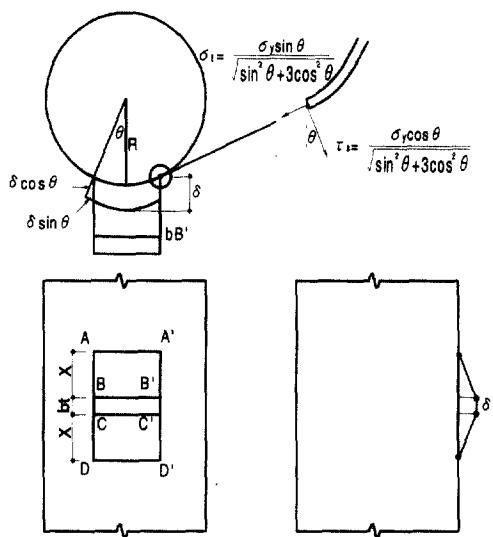


그림 11. Morita 모델

$AA', BB', CC', DD'$  : 용접을 고려한 휨항복선  
 $AB, BC, CD, A'B', B'C', C'D'$  : VonMises의 항복조건에 따른 항복선

$$W_e = W_i \text{ 조건에 의해}$$

$$P \cdot \delta = \left[ \frac{2M_p \pi R \theta}{45x} + \frac{2t_c(x + bt')\sigma_y}{\sqrt{(1 + 2\cos^2 \theta)}} \right] \cdot \delta$$

$$P = \frac{2M_p \pi R \theta}{45x} + \frac{2t_c(x + bt')\sigma_y}{\sqrt{(1 + 2\cos^2 \theta)}}$$

여기서 극치값을 찾기 위해서  $x$ 로 편미분을 하면

$$\frac{\partial P}{\partial x} = \frac{-2M_p \pi R \theta \times 45}{(45x)^2} + \frac{2t_c \sigma_y}{\sqrt{1 + 2\cos^2 \theta}} = 0$$

$$x = \sqrt{\frac{M_p \pi R \theta \sqrt{1+2\cos^2\theta}}{45t_c \sigma_y}}$$

따라서,  $\mu P_y = \frac{2M_p \pi R \theta}{45\sqrt{\frac{M_p \pi R \theta \sqrt{1+2\cos^2\theta}}{45t_c \sigma_y}}}$

$$+ \frac{2t_c(\sqrt{\frac{M_p \pi R \theta \sqrt{1+2\cos^2\theta}}{45t_c \sigma_y}} + bt')\sigma_y}{\sqrt{(1+2\cos^2\theta)}} \quad (10)$$

$M_p = t_c^2 \sigma_y / 4$        $\sigma_y$  : 강판의 항복용력도  
 $bt'$  : 용접을 고려한 두께     $t_c$  : 강판 두께

### 2.2.3.1 실험치와 이론치의 비교

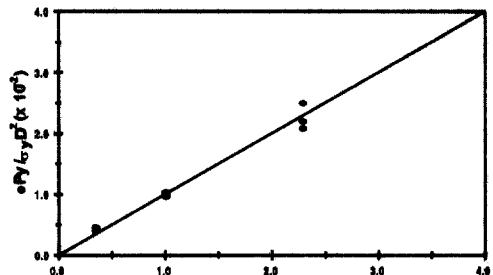
#### (1) 비충전 시험체

표 5와 그림 12에 비충전 시험체의 실험치와 이론치를 비교하여 나타냈다. 무차원화한 실험치와 이론치의 비를 (a)에 지름-두께비와 내력비의 관계를 (b)에 나타냈다.

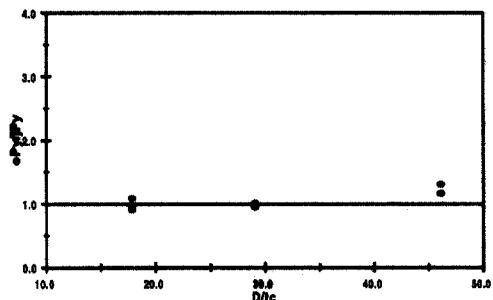
Morita의 모델은 이론치와 실험치의 비가  $0.91 \leq \frac{eP_y}{P_y} \leq 1.31$ 의 범위로 나타나 강판 두께 15 mm 인 시험체를 제외하면 비충전 시험체의 국부항복하중 예측식으로 사용할 수 있다고 생각한다.

표 5. 실험치와 이론치의 비교  
(CASE-3, 비충전,  $r^2=0.980$ )

시험체	$HB$ (cm)	$bt'$ (cm)	$\theta$ (rad.)	$x$	$eP_y$ (ton)	$\mu P_y$ (ton)	$\frac{eP_y}{\mu P_y}$
SN5H	16.16	2.66	0.649	0.373	8.00	6.88	1.16
SN9H	16.84	3.34	0.681	0.392	29.00	28.45	1.02
SN15H	18.00	4.50	0.738	0.511	41.60	45.92	0.91
SNR5H	16.16	2.66	0.649	0.373	9.00	6.88	1.31
SNR9H	16.84	3.34	0.681	0.392	27.00	28.45	0.95
SNR15H	18.00	4.50	0.738	0.511	50.00	45.92	1.09
SNS5H	16.16	2.66	0.649	0.373	9.00	6.88	1.31
SNS9H	16.84	3.34	0.681	0.392	29.00	48.45	1.02
SNS15H	18.00	4.50	0.738	0.511	44.00	45.92	0.96



(a)



(b)

그림 12. 실험치와 이론치의 관계(비충전)

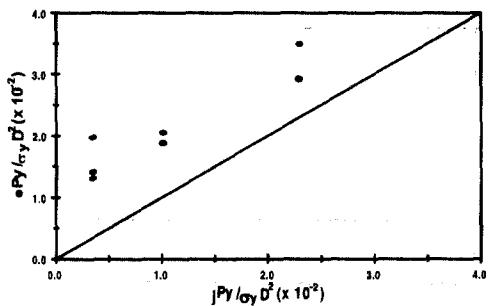
#### (2) 충전 시험체

표 6과 그림 13에 충전 시험체의 실험치와 이론치를 비교하여 나타냈다.

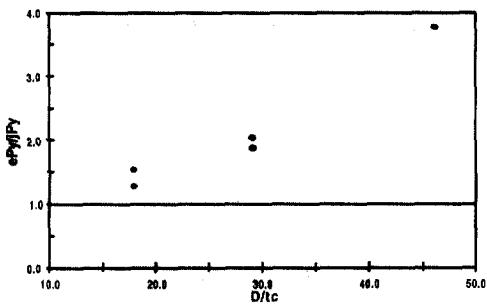
표 6. 실험치와 이론치의 비교  
(CASE-3, 충전,  $r^2=0.844$ )

시험체	$HB$ (cm)	$bt'$ (cm)	$\theta$ (rad.)	$x$	$eP_y$ (ton)	$\mu P_y$ (ton)	$\frac{eP_y}{\mu P_y}$
SN5F	16.16	2.66	0.649	0.373	26.00	6.88	3.78
SN9F	16.84	3.34	0.681	0.392	53.00	28.45	1.86
SN15F	18.00	4.50	0.738	0.511	70.00	45.92	1.52
SNR5F	16.16	2.66	0.649	0.373	39.00	6.88	5.67
SNR9F	16.84	3.34	0.681	0.392	58.00	28.45	2.04
SNR15F	18.00	4.50	0.738	0.511	58.80	45.92	1.28
SNS5F	16.16	2.66	0.649	0.373	28.00	6.88	4.07
SNS9F	16.84	3.34	0.681	0.392	53.20	48.45	1.87
SNS15F	18.00	4.50	0.738	0.511	58.40	45.92	1.27

무차원화한 실험치와 이론치의 비를 (a)에 지름-두께비와 내력비의 관계를 (b)에 나타냈다. 콘크리트 충전 시험체에 대해서는 이론치와 실험치의 비가  $1.27 \leq \frac{eP_y}{iP_y} \leq 5.67$ 의 범위로 나타나 비충전 시험체보다는 이론치가 너무 과소 평가되어 있다. 이는 콘크리트 충전으로 인하여 비충전 시험체와는 다른 국부거동을 일으켰기 때문이다라고 사료된다.



(a)



(b)

그림 13. 실험치와 이론치의 관계 (충 전)

### 2.3 공칭치를 이용한 국부항복하중과 지름-두께비 관계(CASE-2)

수정된 항복선 모델(CASE-2)에 의한 국부항복하중 추정식의  $k$ 를 조정함으로써 실험치와의 상관계수가 0.9를 상회하는 것으로 나타났다. 표 7과 표 8은 강재의 공칭치( $F_y = 2.4t/cm^2$ )를 적용함으로써 보플랜지 폭-지름비( $B_f/D$ )와 지름-

두께비( $D/t_c$ )의 변화에 따른 국부항복하중과의 관계를 나타낸 것이다.

표 7. 공칭치 국부항복하중 비교(N-TYPE)

$B_f/D$	$D/t_c$	$iP_y$ (ton)	$B_f/D$	$D/t_c$	$iP_y$ (ton)	$B_f/D$	$D/t_c$	$iP_y$ (ton)
20	32.57		20	37.11		20	41.03	
22	29.22		22	33.45		22	37.12	
24	26.60		24	30.59		24	34.04	
26	24.50		26	28.30		26	31.57	
28	22.78		28	26.41		28	29.53	
30	21.35		30	24.84		30	27.83	
32	20.14	0.561	32	23.50	0.748	32	26.38	
34	19.10		34	22.35		34	25.13	
36	18.20		36	21.34		36	24.04	
38	17.41		38	20.46		38	23.08	
40	16.70		40	19.68		40	22.22	
42	16.08		42	18.98		42	21.46	
44	15.52		44	18.35		44	20.77	
46	15.02		46	17.78		46	20.14	

표 8. 공칭치 국부항복하중 비교(R-TYPE)

$B_f/D$	$D/t_c$	$iP_y$ (ton)	$B_f/D$	$D/t_c$	$iP_y$ (ton)	$B_f/D$	$D/t_c$	$iP_y$ (ton)
20	34.41		20	39.28		20	43.49	
22	31.07		22	35.65		22	39.60	
24	28.45		24	32.79		24	36.54	
26	26.34		26	30.49		26	34.06	
28	24.61		28	28.59		28	32.02	
30	23.17		30	27.00		30	30.30	
32	21.94	0.561	32	25.65	0.748	32	28.83	
34	20.88		34	24.48		34	27.56	
36	19.96		36	23.45		36	26.45	
38	19.15		38	22.55		38	25.46	
40	18.43		40	21.75		40	24.59	
42	17.79		42	21.03		42	23.80	
44	17.21		44	20.38		44	23.09	
46	16.69		46	19.79		46	22.44	

그림 14와 그림 15는 단순두께종복형과 종리브 보강형 접합부의 지름-두께비와 공칭치 국부항복하중 관계이며, 실험치와의 큰 차이는 우선 강재의 인장강도 시험으로부터 구한 실험치와 공칭치 항복용력도의 차이와  $k$ 의 추정식이 실험치보다 낮게 평가되었기 때문으로 사료된다. 따라서 안전측의 의미로 본다면 식(9)와  $k$ 의 회귀식으

로 부터 접합부의 국부항복하중 이론치로 사용함이 가능하리라 생각된다. 여기서 실험적으로 검증된 적용 범위는 다음과 같다.

### 적용 범위

$$18 \leq D/t_c \leq 46, 0.374 \leq B_f/D \leq 0.748$$

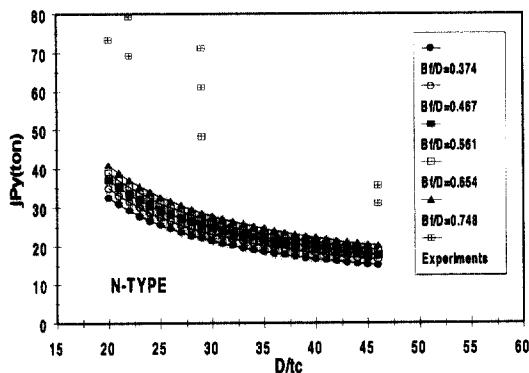


그림 14. 지름-두께비와 공칭치 국부항복하중 (N-TYPE)

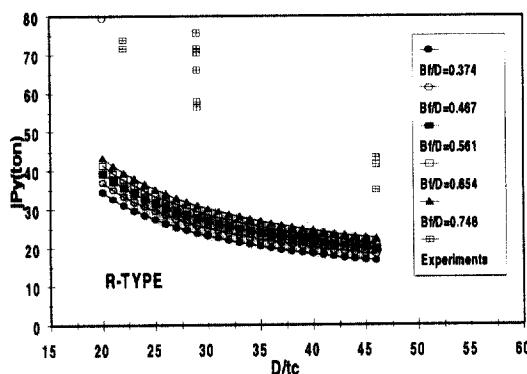


그림 15. 지름-두께비와 공칭치 국부항복하중 (R-TYPE)

### 3. 결 론

(1) 단순화한 항복선 모델(CASE-1)에 의한 이론치와 실험치의 비교에서는  $m_p = t_c^2 \cdot \sigma_y / 4$ ,  $T_f = t_f$ ,  $m = t_c$ 로 가정하였을 때 단순두께중복

형의 경우  $1.03 \leq eP_y / P_y \leq 2.33$  범위, 종리브 보강형의 경우  $1.04 \leq eP_y / P_y \leq 2.70$  분포로 나타났다.

(2) 수정된 항복선 모델(CASE-2)에 의한 이론치와 실험치의 비교에서는 단순두께중복형의 경우  $k = 0.04 \sim 0.2$ 로 변화시켰을 때  $0.91 \leq eP_y / P_y \leq 1.22$ , 또한 국부최대내력의 비교에서  $0.86 \leq eP_{max} / P_{max} \leq 1.34$ 의 분포로 나타났다. 종리브 보강형의 경우  $k = 0.03 \sim 1.5$ 로 변화시켰을 때  $0.89 \leq eP_y / P_y \leq 1.18$ 의 분포를 보이고 있다. 또한 국부최대내력의 비교에서  $0.78 \leq eP_{max} / P_{max} \leq 1.29$ 의 분포로 나타났다.

(3) 단순모형실험치와 Morita모델의 이론치와의 비교에서는 비충전 시험체의 경우  $0.91 \leq eP_y / P_y \leq 1.31$  범위, 충전 시험체의 경우  $1.28 \leq eP_y / P_y \leq 5.67$  범위를 나타내고 있다.

(4) 수정된 항복선 모델의 이론치를 적용함에 있어서 주요 변수를 단순두께중복형의 경우  $k = 88.805(D/t_c)^{-2.036}$  ( $r^2 = 0.952$ ), 종리브보강형의 경우는  $k = 84.649(D/t_c)^{-2.087}$  ( $r^2 = 0.990$ )를 이용하면 아래의 범위내에서는 실험치와의 비교결과로 부터 상관계수 0.9이상의 결과를 도출 할 수 있었다.

### 감사의 말

본 연구는 삼성건설(주) 기술연구소와 삼성중공업(주) 기술연구소의 연구비 지원과 한양대 초대형구조시스템연구센터(STRESS)의 협조를 받아 수행된 연구임.

### 참 고 문 헌

- (1) 문태섭의 5인 : 1996. 4., “충전콘크리트 원형 강관 기둥-보 접합부의 단순모델에 의한 실험적 연구”, 대한건축학회논문집, 제12권 4호, pp. 167-175.

- (2) 김덕재외 8인 : 1996. 4., “콘크리트 충전 원형 강관 기둥-H형강 보 접합부의 구조적 거동에 관한 실험적 연구”, 대한건축학회학술발표논문집, 제16권 제1호, pp. 409-416.
- (3) 김동규외 5인 : 1996. 6., “콘크리트 충전 원형강관 기둥·보 접합부의 단순모델에 의한 연구”, 한국강구조학회논문집, 제8권 제2호, pp. 221-230.
- (4) 김규석외 5인 : 1996. 6., “콘크리트충전 원형강관 기둥-H형강보 접합부의 구조적거동에 관
- 한 연구(I)”, 한국강구조학회학술발표논문집, 제8권, pp. 65-71.
- (5) K. W. JOHANSEN : 1962, Yield-line Theory, Cement and Concrete Association
- (6) S. INAOKA, N. YAMAMOTO, K. MORITA : 1994. 9., “コンクリート充填圓形鋼管柱梁無補強接合部の設計法に關する研究(その1：接合部引張實驗)”, 日本建築學會大會學術講演梗概集, pp.190-193.

(접수일자 : 1998년 3월 18일)