

직교보를 고려한 RCS구조 보-기둥 접합부의 극한전단강도

안재혁 · 박천석[†]

부경대학교 건축학부

(2005. 7. 11. 접수 / 2005. 8. 19. 채택)

The Ultimate Shear Strength of RCS System Beam-Column Joints Considering the Transverse Beam

An, Jae-Hyeok · Park, Cheon-Seok[†]

Division of Architecture, Pukyong National University

(Received July 11, 2005 / Accepted August 19, 2005)

Abstract : This paper is focusing on the model to predict the ultimate shear strength on joints of composite system (RCS) with reinforced concrete columns and steel beams considering the transverse beam. It reviews the ratio of experimental shear strength to design strength calculated by existing design equations which are proposed by Kanno, Wight, Noguchi and the rising of strength by the transverse beams. When the shear strength of joints is estimated, it is necessary to do research work for the stress transfer mechanism considering two concrete strut of inner and outer panel by web of the transverse beam. In order to confirm it requires further experimental and analytical study.

Key Words : ultimate shear strength, joints of RCS system, transverse beam, concrete strut

1. 서론

RCS구조는 접합부의 파괴모드, 응력전달기구가 철근콘크리트구조(이하 RC구조라 함)나 철골구조(이하 S구조라 함)에 비해 복잡하고 명확한 대응성을 가진 합리적인 설계식이 제안되지 못하고 있다. 따라서 RCS구조 중에서 보 관통형은 철골철근콘크리트구조의 접합부에 기초해 평가하고, 기둥 관통형은 RC구조 접합부에 기초하여 평가하고 있다. 그러나 RCS구조 보-기둥 접합부에는 서로 다른 종류의 재료로 구성되어 다양한 보강상세(FBP, E-FBP, VJR, stud, band plate, cover plate 등)가 사용되고 있지만 기존 연구¹⁻³⁾에서는 명확한 저항기구에 대한 규명이 없이 보강상세에 따른 내력수정계수에 의한 내력평가를 하고 있는 실정이다.

현재 국·내외에서는 RCS구조의 실용화와 실제 구조물에 적용하기 위한 보-기둥 접합부 응력메카니즘의 합리화에 대한 연구^{4,5)}가 진행되고 있다. 그

러나 실제 구조물에서 모든 보-기둥의 접합부에 직교보가 있지만 기존에 제안된 RCS구조 보-기둥 접합부의 전단내력식은 응력메카니즘에서 전단저항기구를 모델화 할 때에 직교보에 의한 전단보강기구의 특성을 고려하지 못하고 있다.

따라서 본 연구에서는 기존 연구의 실험체 중에서 직교보를 가지는 실험체를 대상으로 기존전단내력식의 문제점을 파악하고, 직교보를 고려한 RCS구조 보-기둥 접합부의 전단저항기구를 규명하는데 필요한 자료를 제시하고자 한다.

2. 기존 전단내력식의 고찰

RCS구조 보-기둥 접합부의 전단내력을 평가하는 식은 Sheikh, Deierlein(1989) 등의 연구를 바탕으로 하여 1994년 ASCE 합성구조 위원회는 구조설계 지침서를 발표하였으며 이를 근거로 다양한 보강상세를 고려할 수 있도록 수정·제안한 R. Kanno(1993)의 연구 등이 있다. 그리고 일본에서는 Wakabayashi(1983)의 연구가 일본건축학회의 SRC 표준

[†] To whom correspondence should be addressed.
pcs@pknu.ac.kr

으로 채택되었으며 이후에 H. Noguchi의 연구, Y. Nishimura의 연구 등으로 계속 진행되어 왔다. 1993년부터는 미국과 일본이 합동으로 소위원회를 구성하여 연구를 진행하고 있다.

2.1. ASCE 제안식

ASCE Task Committee에서는 Fig. 1과 같이 RCS 구조 보-기둥 접합부의 전단저항기구를 철골 웹 패널과 플랜지 내측에서 콘크리트에 의한 압축스트럿, 플랜지 외측에서 철근과 콘크리트에 의한 압축장 (compression field)으로 역학적으로 모델화하였다.

Fig. 1의 3가지 역학적 모델에 의해 전단력을 전달한다고 할 수 있으며 접합부의 전단파괴가 발생할 때 보의 전단력으로 환산하여 접합부의 전단강도를 계산하였고, 접합부의 전단강도 산정에 필요한 유효폭을 산정할 때 Face Bearing Plate(FBP), Vertical Joint Reinforcement(VJR), Stud 등과 같은 보강상세는 고려하였으나 직교보는 고려하지 않았다.

2.2. Kanno 제안식

Kanno는 실험체의 항복강도를 Krawinkler Method에 의해 정의하여 RCS구조 보-기둥 접합부의 항복강도를 평가하였으며 ASCE 식을 기초로 하여 접합부의 유효폭을 산정할 때 band plate, 직교보를 고려할 수 있도록 하였다.

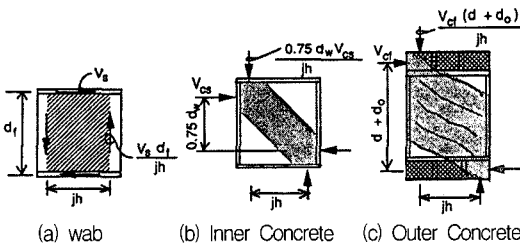


Fig. 1. The shear resisting mechanism of beam-column.

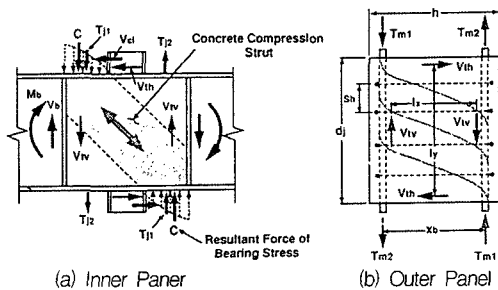


Fig. 2. Resisting elements for shear failure.

2.2.1. 내부요소

철골 웹패널의 강도는 G. Deierlein과 동일한 가정인 철골웹패널 전체에 전단응력분포가 일정하다는 가정에 의해 계산되고 최대강도는 전단응력이 항복강도에 도달했을 때 발생한다.

$$V_s = \frac{F_{yw}}{\sqrt{3}} t_w jh \tag{1}$$

$$V_{sf} = \frac{4M_{bf}}{d_f} \tag{2}$$

여기서, M_{bf} : 철골보 프레임요소의 소성 모멘트

$$V_n = 1.65 \sqrt{f_{ck}} \cdot b_i \cdot h_c \tag{3}$$

2.2.2. 외부요소

철근콘크리트부재와 전단강도에 적용된 모델과 유사한 방법인 트러스 유추 과정을 고려하여 계산된 외부패널의 수평전단강도는 식 (4)와 같다.

$$V_n' = V_c + V_s \leq 1.65 \sqrt{f_{ck}} \cdot b_o \cdot h_c \tag{4}$$

$$V_c = 1.05 \sqrt{f_{ck}} \cdot b_o \cdot h_c \tag{5}$$

$$V_s = \frac{A_{st} \cdot F_{yr} \cdot 0.9h_c}{s_h} \tag{6}$$

2.3. Wight 제안식

K. Wight는 Fig. 3과 같이 제안한 모델에 의해 내·외부 보-기둥 접합부에 적용이 가능한 전단내력식을 제안하였다. 패널존의 전단변형률이 1.2%일 때에 접합부 주인장변형률과 주압축변형률의 관계를 통해서 접합부 전단강도 산정을 위한 모델을 제시하였다. 접합부에서의 전단강도는 철골웹패널과 내·외부콘크리트 스트럿이 부담하며, 스트럿

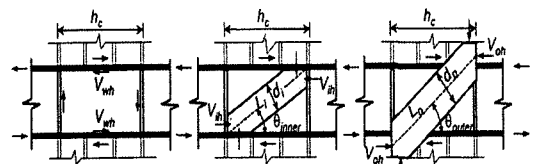


Fig. 3. Stress mechanism of beam-column.

의 유효층은 스트럿의 대각선 길이의 30%로 가정되었다. 접합부의 유효폭 중 내부유효폭은 ASCE식의 내부 유효폭과 동일하며 외부 유효폭은 접합부 상세에 따라 산정하는 방법을 제안하였다.

Wight 식의 접합부 전단내력은 접합부의 수평전단력으로 표현되어 있으며, 접합부 내의 수평력 평형과 수평전단저항력의 응력중심간 거리가 보 춤에서 플랜지 두께를 뺀 것과 같다는 가정에 의해 식(7)과 같이 유도할 수 있다.

$$\frac{\sum M_b}{d_b - t_f} - V_c = (V_{nwh} + V_{nih} + V_{noh}) \quad (7)$$

여기서, V_{nwh} : 철골웨브의 수평전단력
 V_{nih} : 내부콘크리트패널의 수평전단력
 V_{noh} : 외부패널의 수평전단력

$$V_{wh} = \frac{F_{yw}}{\sqrt{3}} \cdot t_w \cdot k_w \cdot h_c \quad (8)$$

여기서, k_w : 유효패널길이 계수

$$V_{\supset h} = 0.30 \nu_i f_{ck} h_c (b_f - t_w) \quad (9)$$

$$\nu_i = 1.07(1.13 - 0.0004708 f_{ck}) k_1 \cdot k_2$$

여기서, ν_i : 내부콘크리트패널의 유효압축강도계수
 k_1 : band plate에 의한 내력보정계수
 k_2 : 직교보에 의한 내력보정계수

$$V_{noh} = 0.30 \nu_o f_{ck} h_c b_o \quad (10)$$

$$\nu_o = 0.53(1.13 - 0.0004708 f_{ck}) k_1 \cdot k_2 \cdot k_3$$

여기서, ν_o : 외부패널의 유효압축강도
 k_3 : cover plate에 의한 내력보정계수

2.4. Noguchi 제안식

Noguchi는 유한요소해석에 의해 접합부 형상과 보강상세를 고려할 수 있는 전단내력식을 제안하였다. 보 관통형 접합부와 웨브가 접합부 내를 관통하면서 FBPN나 연직 스티프너를 가지는 기둥 관통형 접합부를 대상으로 접합부 내의 철골 웨브와 내·외부 콘크리트 전단내력을 모두 더하여 접합부의 전단내력을 산정하였다.

$$Q_{pu} = Q_w + Q_{ci} + Q_{co} \quad (11)$$

$$Q_w = k_w \cdot (s_w \sigma_y / \sqrt{3}) \cdot t_w \cdot D_c \quad (12)$$

$$Q_{ci} = k_j \cdot \sigma_B \cdot B_b \cdot D_c \quad (13)$$

$$Q_{co} = k_j \cdot \sigma_B \cdot k_{co} \cdot (B_c - B_b) \cdot D_c \quad (14)$$

여기서, Q_{pu} : 접합부의 극한전단내력
 Q_w : 철골 웨브의 극한전단내력
 Q_{ci} : 내부 콘크리트의 극한전단내력
 Q_{co} : 외부 콘크리트의 극한전단내력
 k_w : 웨브 유효폭 계수
 k_j : 접합부 형상에 의한 계수
 k_{co} : 보강상세별 외부패널 유효폭 계수

외부 패널의 유효폭 산정에 있어서 각 보강상세마다 외부콘크리트의 유효단면 비율을 나타내는 계수에 의해 평가하였고, 다수의 보강상세를 가지는 실험체는 각 계수를 더해서 평가하는 방법을 이용하였다.

3. 기존 전단내력식의 적용성 평가

기존 전단내력식이 직교보의 영향을 고려하는 방법에 대한 문제점을 파악하기 위해 기존연구의 실험체 중에서 파괴형태가 전단파괴이고 직교보가 있는 RCS구조 보-기둥 접합부 실험체 32개를 선정하였다.

3.1. 전단내력의 비교·분석

Table 1에 선정된 기존 연구의 실험체를 Kanno 식, Wight식, Noguchi식에 의해 계산된 값과 실험값과의 비를 비교하여 Fig. 4~6에 나타내었다.

전체적으로 기존 전단내력식에 대한 실험값의 비는 식에 따라 다르게 나타났지만 실험체 내력을 평가한 결과의 경향은 비슷하게 나타났다. 특히 Noguchi 식은 대상으로 하는 실험체의 시험값의 비가 0~1에 분포하지만 비의 분포 경향은 다른 식과 비슷하게 나타났다.

Fig. 4에서 Kanno 식에 대한 실험값의 비에 대한 평균은 1.06으로 좋게 나타났지만 변동계수는 0.59로 식에 의한 값이 넓게 분포되어 있다.

직교보를 고려한 RCS구조 보-기둥 접합부의 극한전단강도

Table 1. Specimens of existing research with transverse beam

Researcher	Specimen name	Joint detail	Steel beam	Column section (mm)	Geometric configuration ratio			f_{ck} (MPa)	Axial force (KN)	Measured strength (KN)
					L_c/L_b	b_c/b_f	h_c/d_b			
Kanno ⁹⁾	OJS7-0	EF, VJR, TB	H-355×153×6×25	406×406	1.11	2.66	1.15	48.3	-	355
馬場 望 ¹³⁾	TR-CP32t	F, TB, CP	H-250×125×9×16	300×300	1	3	1.2	27.6	-	92.1
	TR-CP23t	F, TB, CP	H-250×125×9×16	300×300	1	3	1.2	29.8	-	88.7
黒田洋子 ¹⁴⁾	D2	F, TB	H-300×150×6.5×9	400×400	0.68	4	1.33	28.9	-	100
	N2	F, TB	H-300×150×6.5×9	400×400	0.68	2.67	1.33	28.9	-	733
	S2	F, TB	H-300×150×6.5×9	400×400	0.68	2.67	1.33	28.9	-	1228
中出 睦 ¹⁷⁾	EJ1	F, TB, CP	H-300×120×6×12	350×350	1.14	2.92	1.17	34	-	1166
	EJ2	F, TB, CP	H-300×120×9×22	350×350	1.14	2.92	1.17	34.6	-	1260
	EJ3	F, TB, CP	H-300×120×9×22	350×350	1.14	2.92	1.17	34.5	-	1245
	EJ4	F, TB, CP	H-300×120×9×22	350×350	1.14	2.92	1.17	35.6	-	1276
城 憲典 ¹⁶⁾	W	F, TB	H-250×100×9×16	300×300	2	3	1.2	29	-	22.4
	F	F, TB	H-250×100×9×16	300×300	2	3	1.2	29	-	55.3
	FW	F, TB	H-250×100×9×16	300×300	2	3	1.2	29	-	60.6
	FW_F	F, TB	H-250×100×9×16	300×300	2	3	1.2	29	-	69.9
菅野良一 ⁹⁾	TRCS3	F, TB	H-300×150×6.5×9	425×425	0.57	2.83	1.42	27.9	421.7	257.6
	TRCS4	F, TB	H-300×150×6.5×9	425×425	0.57	2.83	1.42	28.7	421.7	301.4
	TRCS5	F, TB	H-300×150×6×9	425×425	0.57	2.83	1.42	28	421.7	310.2
	TRCS6	TB	H-300×125×22×22	425×425	0.57	2.83	1.42	28	421.7	359
	TRCS7	F, TB	H-400×150×9×25	400×400	0.57	2.83	1.42	28	245.2	297.5
	TRCS8	F, TB	H-300×150×6.5×9	425×425	0.57	2.83	1.42	27.6	-	316
細川洋治 ¹⁵⁾	A1	F, TB	H-325×110×9×12	410×410	0.64	3.73	1.26	34.3	34.8	232
	A2	F, TB	H-325×110×9×12	410×410	0.64	3.73	1.26	34.3	74.4	248
	B	F, TB	H-325×110×9×12	410×410	0.64	3.73	1.26	34.3	34.05	227
	C	F, TB	H-325×110×9×12	410×410	0.64	3.73	1.26	34.3	29.7	198
	No.1	F, TB	H-325×110×6×9	410×410	0.64	3.73	1.26	28.6	14	140
	No.2	F, TB	H-325×110×12×16	410×410	0.64	3.73	1.26	28.6	16.9	169
	No.3	F, TB	H-325×110×9×19	440×440	0.64	3.73	1.26	31.8	23.4	234
	No.4	F, TB	H-325×110×6×9	410×410	0.64	3.73	1.26	28.6	14.2	142
	No.5	F, TB	H-325×110×6×9	410×410	0.64	3.73	1.26	28.6	-	66
	No.6	F, TB	H-325×110×12×16	410×410	0.64	3.73	1.26	51.8	24.7	247
최근도 ⁶⁾	JL0-2	F, EF, TB	H-350×175×7×11	480×480	0.4	2.74	1.16	26.5	-	196.2
	JL1-1	F, EF, TB	H-350×175×7×11	480×480	0.4	2.74	1.16	26.5	-	240.3
	JL1-3	F, EF, TB	H-350×175×7×11	480×480	0.4	2.74	1.16	26.5	-	235.4
	JS-1	F, EF, TB	H-350×175×7×11	480×480	0.4	2.74	1.16	26.5	-	226.6
	JS-2	F, EF, TB	H-350×175×7×11	480×480	0.4	2.74	1.16	26.5	-	234.5

FBP와 직교보만 있는 실험체의 경우에는 대체적으로 실험값의 비가 1에 가깝게 나타났지만 직교보와 FBP 외의 보강상세가 있는 실험체의 경우에는 다른 보강 상세의 영향을 고려하지 않아서 차이가 크게 나타난 것으로 판단된다.

Wight 식은 Fig. 5에서 나타난 것과 같이 실험체에 따라서 과대평가하거나 과소평가하는 경향이

큰 것을 알 수 있다. 그러므로 비의 평균이 1.08로 나타났지만 실제 직교보에 대한 영향이 제대로 반영되지 않음을 알 수 있다.

이는 접합부의 유효폭을 구할 때부터 직교보를 고려한 Kanno 식과는 다르게 Wight 식은 내·외부 패널의 콘크리트의 수평전단력에 보정계수만으로 고려했기 때문으로 사료된다.

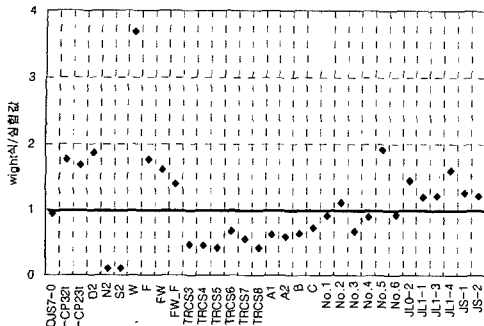


Fig. 4. Ratio of Kanno versus measured shear strength.

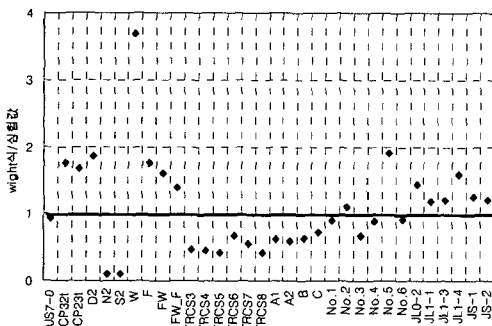


Fig. 5. Ratio of Wight versus measured shear strength.

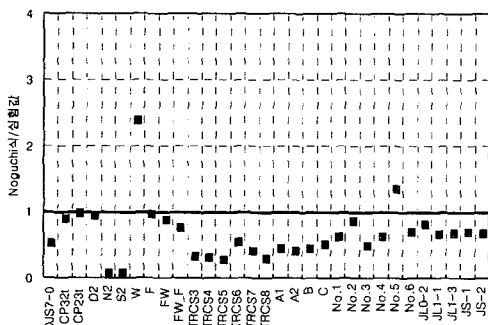


Fig. 6. Ratio of Noguchi versus measured shear strength.

Noguchi 식은 실험값에 대한 비가 대부분이 1이하로 나타나 접합부의 전단내력을 안전하게 평가하는 것으로 나타났다 하지만 이는 응력메카니즘에 기초한 것이 아니라 해석결과에 기초하여 일본 콘크리트학회(JCI)에서 제안한 식에 유효계수를 도입하여 수정한 식이기 때문으로 생각된다.

3.2. 직교보에 의한 내력 상승

기존 연구에서 실험에 의해 직교보에 의한 내력 상승효과를 확인하기 위해 똑같은 보강상세에서 직

교보가 있는 실험체와 직교보가 없는 실험체를 비교해 보면 26% 정도의 내력 상승이 일어나는 것으로 나타났다. 그러나 Kanno 식을 이용하여 본 연구의 대상으로 한 실험체를 직교보가 없다고 생각하여 계산한 값을 비교하면 8.9% 정도의 내력 상승이 일어난다. 그리고 Wight 식은 보강상세에 따른 보정계수로서 내·외부 콘크리트의 전단내력을 15% 상승시켜 평가하고 있다. 그러나 접합부 전체의 전단내력에는 9.1%의 내력상승이 있는 것으로 나타났다. Noguchi 식에서는 외부패널의 전단강도에 유효계수를 사용하여 직교보에 의한 영향으로 접합부의 전체 전단내력은 2.6%의 내력상승이 일어나는 것으로 나타났다.

실제 실험에서 직교보에 의한 내력상승에 비해 기존 전단내력식에 의한 내력상승 차이가 커 직교보에 의한 영향을 제대로 고려하지 못하는 것을 알 수가 있다.

3.3. 직교보에 의한 콘크리트 스트럿

기존 전단내력식은 Fig. 2~3에서 나타난 것과 같이 직교보가 없는 경우처럼 콘크리트의 스트럿이 접합부 전체에 1개의 스트럿이 형성되는 것처럼 가정하여 식을 제안하였다. 그러나 실제로는 Fig. 7과 같이 직교보 웹에 의해 대각선 방향으로 2개의 압축스트럿을 형성하게 된다.

기존 전단내력식 중에서 Kanno 식은 개별적으로 형성되는 압축스트럿을 고려하여 산정한 것은 아니지만 접합부 유효폭을 산정할 때에 유효화계수(C)를 사용하여 직교보의 영향을 고려하고 있다. 그러나 직교보의 영향을 고려하기 위해서는 기존의 전단내력식의 스트럿과는 다르게 2개의 스트럿의 강도를 개별적으로 산정하여 중첩 원리에 의해 전체 강도를 산정하는 것이 바람직하다고 사료된다.

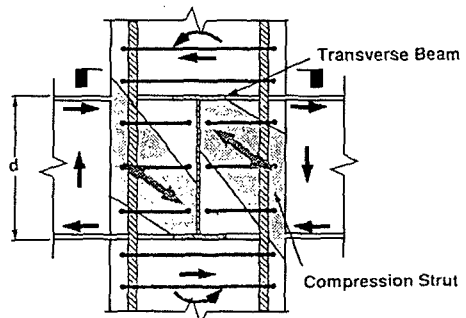


Fig. 7. Concrete compression strut considering transverse beam.

4. 결 론

본 연구에서는 기존 전단내력식을 이용하여 직교보를 고려한 RCS구조 보-기둥 접합부의 전단저항기구에 대한 문제점을 파악하기 위해 기존연구의 실험체 중에서 직교보를 가지는 실험체를 선정하여 기존 전단내력식에 의한 전단내력과 실험값과 비교·분석을 통하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) Kanno 식은 유동화계수에 의해 직교보의 영향을 고려하고 있지만 실제로 식에 의한 내력상승은 8.9%로 전단내력을 산정할 때는 직교보의 영향이 제대로 반영되지 못하고 있다.

2) Wight 식은 직교보의 영향을 내·외부 콘크리트의 전단력을 산정할 때에 보정계수에 의해 전체 전단력을 9.1% 상승시키지만 직교보의 영향을 합리적으로 고려하지 못하고 있다.

3) Noguchi 식은 전단내력을 안전하게 평가하는 것으로 나타나지만 응력기구에 의한 것이 아니라 해석에 의한 유효계수를 적용한 것으로 직교보에 의한 내력 증가는 2.5%로 나타나 실제 적용성이 부족하다.

4) 내·외부 패널의 콘크리트 압축 스트럿은 기존 전단내력식의 스트럿과는 다르게 직교보 웨브에 의한 2개의 스트럿 강도를 개별적으로 산정하여 전체 강도를 산정하는 방법에 대한 연구가 필요하다.

본 연구에서 기존 전단내력식의 비교·분석을 통하여 문제점을 분석한 것을 토대로 하여 직교보의 영향을 합리적으로 고려한 RCS구조 보-기둥 접합부의 응력기구를 위해 실험과 해석에 의한 연구가 계속 진행되고 있다.

감사의 글 : 이 논문은 2004학년도 부경대학교 기성회 학술연구비에 의하여 연구되었음.

참고문헌

- 1) Deierlein, G.G. et. al., "Beam-Column Moment Connections for Composite Frames", *Journal of Structural Engineering*, Vol. 115, No. 11, Nov., pp. 2858~2895, 1989.
- 2) Kanno, R., "Strength, Deformation and Seismic Resistance of Joints between Steel Beams and Reinforced Concrete Columns", Vol. 1,2, Cornell Uni-

- versity, 1993.
- 3) Gustavo Parra-Montesinos, James K. Wight., "Modeling Shear Behavior of Hybrid RCS Beam-Column Connections", *Journal of Structural Engineering*, Vol. 127, No. 1, pp. 3~11, Jan. 2001.
- 4) 최성훈 외, "철근콘크리트 기둥과 강재보로 이루어진 RCS 접합부에서 전단보강기구의 특성을 고려한 전단강도식 평가", *대한건축학회학술발표논문집*, 제24권, 제1호, pp. 245~248, 2004.10.
- 5) 최근도 외, "철근콘크리트 기둥과 철골보 접합부의 전단거동", *대한건축학회논문집 구조계*, 제19권, 제8호, 2003.8.
- 6) 西村泰志, 南 宏一, "はりS・柱RCで構成される内部柱はり接合部の耐力 傳達機構", *日本建築學會構造系論文集*, 第401号, pp. 77~85, 1989.7.
- 7) 渡邊一弘 외, "柱RC造・梁S造接合部のせん断耐力にする實驗的研究", *コンクリー工學年次論文報告集*, Vol. 17, No. 2, pp. 1059~1064, 1995.
- 8) 菅野良一, "RCS構造柱梁接合部に對する既存耐力式の評價とモデル化への一考察", *日本建築學會構造系論文集*, 第553号, pp. 135~142, 2002.3.
- 9) Gustavo Parra-Montesinos, James K. Wight., "Seismic Response Exterior RC Column-to-Steel Beam Connections", *Journal of Structural Engineering*, Vol. 126, No. 10, pp. 1113~1121, Oct., 2000.
- 10) 金 洗演 野口 傳, "柱RC・梁S混合構造接合部の集力せん断耐力に關する研究", *日本建築學會構造系論文集*, 第461号, pp. 143~152, 1984.7.
- 11) 日本建築學會, "鐵骨鐵筋コンクリー 構造計算規準", 同解説, 1989.
- 12) 馬場 望, 西村泰志, "はり貫通形式RCS接合部の応力傳達におよぼす直交梁の効果", *コンクリート工學年次論文報告集*, Vol. 21. No. 1, 1999.
- 13) 黒田洋子 외, "梁貫通型柱RC梁構造接合部の構造性能に關する實驗", *コンクリート工學年次論文集*, Vol. 22. No. 3, 2000.
- 14) 細川洋治 외, "鐵骨梁な鐵筋コンクリート柱内で接合する柱梁接合部に關する實驗的研究", *日本建築學會大會學術講演梗概集*, pp. 1089~1092, 2001.9.
- 15) 城 憲典 외, "はり貫通型式RCS接合符の應力傳達におよぼす直交梁要素の影響", *コンクリート工學年次論文報告集*, Vol. 25, No. 2, 2003.
- 16) 中出 睦外, "柱貫通型・RCS造ト字形柱・梁接合部のか實驗的研究", *日本建築學會大會學術講演梗概集*, pp. 1053~1058, 1997.9.