

단부 RC조 중앙부 S조로 이루어진 합성보의 내력 평가

Capacity Evaluation of Composite Beams Composed of End-Reinforced Concrete and Center-Steel

이 승 조¹⁾ · 박 정 민²⁾ · 김 기 욱³⁾ · 김 화 중⁴⁾

Lee, Seung Jo · Park, Jung Min · Kim, Ki Wook · Kim, Wha Jung

요 약: 본 연구는 기존의 연구결과들을 바탕으로 단부 RC조 중앙부 S조로 이루어진 합성보의 내력평가를 이론적으로 고찰한 것으로 다음의 결론을 얻었다. RC구간 길이가 증가할수록 $V_{src, test}/V_{src, the}$ 의 비는 점진적으로 감소하며 그 경향은 $a/d=3.5$ 이상에서 더욱 현저함을 알 수 있었다. 많은 보강방법 중에서는 수직+수평 보강 방법이 우수한 결과를 보였다. 그리고, 주근정착길이 $0.15L$ 에서 내력상승률이 현저하며, $V_{src, Eq(3) \sim (5)}$ 식 일 때 실험치를 일반적으로 과소평가하는 경향을 나타냈다. 전단스팬비와 주근정착길이, 철골철근비의 변화를 주요변수로 하여 회귀분석에 의한 내력 평가식을 제안하였다.

ABSTRACT: This study investigated the capacity evaluation of composite beam of the end-reinforced concrete, the center steel with attached main-bar of stud-bolt welding and flange with main parameter, such as shear span depth ratio ($a/d=1.5, 2.5, 3.5$), reinforcing method, reinforcing length, and steel main-bar ratio. The test results are summarized as follows: As the RC section becomes longer, the capacity ratio of $V_{src, test}/V_{src, the}$ gradually decreased, with the tendency of decrease being remarkably more than $a/d=3.5$. The reinforcing method showed superior result both vertically and horizontally. And, capacity increase ratio displayed tendency that main-bar fixing length is obvious in $0.15L$, and underestimate experimental value usually in $V_{src, Eq(3) \sim (5)}$ equation. The capacity estimation was proposed equation by regression analysis with change of shear span depth ratio and main-bar fixing, steel main-bar ratio.

핵심용어: 합성보, 전단스팬비, 보강방법, 보강길이, 주근정착, 철골철근비

KEYWORDS: Composite Beam, Shear Span Depth Ratio, Reinforcing Method, Reinforcing Length, Main-bar Fixing, Steel Main-bar Ratio

1. 서론

구조물이 고층화·대형화·장스팬화 등 복잡·다양해져 가는 추세에 따라 기존의 구조형식을 극복할 수 있는 새로운 구조형식 및 시공방법에 많은 관심이 집중되고 있으며, 이러한 대응책의 하나로서 근년 복합·합성구조 형식에 대한 연구가 성행하고 있다. 현재 합성구조 형식에 있어서 기둥부재로는 철근콘크리트(RC) 기둥부재와 콘크리트 충전강관(CFT) 기둥부재가 많이 이용되고 있으며 보 부재로는 철골조 보부재가 많이 이용된다. 보부재의 경우 순수 철골조의 경우 대스팬 구조

물로의 채용은 유용하나 접합부 강성이 문제점으로 대두될 수 있고, 철근콘크리트조의 경우 철골조에 비해 접합부 강성은 상승시킬 수 있으나 대스팬 구조물로의 응용이 문제가 될 수 있다. 따라서 콘크리트와 강재를 조합시킨 합성보(Composite Beam)형식의 부재가 효율적인 것으로 생각된다. 이중 구조로 구성된 CB는 이중 구조 사이의 접합방법 및 응력전달 기구의 해명이 중요한 문제이며 이러한 이중 구조로 구성된 CB는 단부 RC 혹은 SRC조 중앙부 S조, 단부 S조 혹은 SRC조 중앙부 RC조 등으로 대별할 수 있다. 이러한 이질구조로 구성된 CB의 경우 기존 선행연구들을 살펴보면 크게 이질구조부 용

1) 안동대학교 건축공학과, 강사, 공학박사
(Tel:054-820-5910, Fax:054-820-5860, E-mail:lsj3948@hanmail.net)
2) 정회원, 경북전문대 건축인테리어과, 부교수, 공학박사(pjm@kbc.ac.kr)
3) 경북대학교 방재연구소 연구원, 공학박사(ce5@korea.com)
3) 정회원, 경북대학교 건축학부, 교수, 공학박사(kimwj@knu.ac.kr)

본 논문에 대한 토의를 2005년 10월 31일까지 학회로 보내주시면 토의 회담을 게재하겠습니다.

표 1. 시험체 일람

Tester	Original specimen	Specimen	Section(mm)		Main-bar	Tension Main-bar ratio (ρ)	ρ/ρ_s	Steel	Steel ratio	Steel Main-bar ratio	Main-bar fixing		Reinforcing		RC part Length	Main parameter
			b	D							Method	Length	Method	Length		
Lee Seung Jo	RS15FVH	RS15F10C201	150	300	3-D13	0.0094	0.156	H-200 × 100 × 5.5 × 8	0.0671	0.14	F	0.1L	C	0.2L	2.5d	RC part length
	RS15FV	RS15F10A201									F		A			
	RS15SVH	RS15S10C201									S		C			
	RS15SV	RS15S10A201									S		A			
	RS25FVH	RS25F10C201									F		C			
	RS25FV	RS25F10A201									F		A			
	RS25SVH	RS25S10C201									S		C	3.5d		
	RS25SV	RS25S10A201									S		A			
	RS35FVH	RS35F10C201									F		C			
	RS35FV	RS35F10A201									F		A	3.5d		
	RS35SVH	RS35S10C201									S		C			
	RS35SV	RS35S10A201									S		A			
Lim Byung Ho	RS25FN	RS25F10F301	150	300	3-D13	0.0094	0.156	H-200 × 100 × 5.5 × 8	0.0671	0.14	F	0.1L	F	0.3L	Reinforcing method	
	RS25SN	RS25S10F301									S		F			
	RS25FS	RS25F10E301									F		E			
	RS25SS	RS25S10E301									S		E			
	RS25FX	RS25F10D301									F		D			
	RS25SX	RS25S10D301									S		D			
	RS25FH1	RS25F10B301									F		B			
	RS25SH1	RS25S10B301									S		B			
	RS25FH2	RS25F10C301									F		C			
	RS25SH2	RS25S10C301									S		C			
	RS25FV	RS25F10A301									F		A			
	RS25SV	RS25S10A301									S		A			
Lee Seung Jo	RSF251020	RS25F10B201	150	300	3-D13	0.0094	0.156	H-200 × 100 × 5.5 × 8	0.0671	0.14	F	0.1L	B	0.2L	2.5d	Main-bar fixing length and Reinforcing length
	RSF251030	RS25F10B301									F			0.3L		
	RSF251040	RS25F10B401									F			0.4L		
	RSS251020	RS25S10B201									S			0.2L		
	RSS251030	RS25S10B301									S			0.3L		
	RSS251040	RS25S10B401									S			0.4L		
	RSF251520	RS25F15B201									F			0.2L		
	RSF251530	RS25F15B301									F			0.3L		
	RSF251540	RS25F15B401									F			0.4L		
	RSS251520	RS25S15B201									S			0.2L		
	RSS251530	RS25S15B301									S			0.3L		
	RSS251540	RS25S15B401									S			0.4L		
Lim Byung Ho	RS251F	RS25F10B302	200	350	3-D10	0.0033	0.055	H-200 × 150 × 6 × 9	0.0577	0.158	F	0.1L	B	0.3L	Steel main-bar ratio	
	RS251S	RS25S10B302			S											
	RS252F	RS25F10B303			3-D13	0.0060	0.100				F					
	RS252S	RS25S10B303			S											
	RS253F	RS25F10B304			3-D16	0.0093	0.155				F					
	RS253S	RS25S10B304			S											
	RS254F	RS25F10B305			3-D19	0.0135	0.255				F					
RS254S	RS25S10B305	S														

주1) 시험체명 RS15F10C201 [R: 단부 RC S: 중앙부 S] [15:RC구간 길이 (15:1.5d, 25:2.5d, 35:3.5d)]
 [F: 주근정착방법 (F: 플랜지용접, S: 스티드볼트용접)] [10: 주근정착길이 (10:0.1L, 15:0.15L)]
 [C: 보강방법 (A: 수직보강, B: 수평보강, C: 수직+수평보강, D: 경사보강, E: 전단보강근보강, F: 무보강)]
 [20: 보강길이 (20: 0.2L, 30: 0.3L, 40: 0.4L)] [1: 철골철근비 (1: 0.14, 2: 0.158, 3: 0.282, 4: 0.442, 5: 0.638)]
 주2) $f_{ck} = 39.2\text{Mpa}$ (모든시험체에 동일하게 적용), 평형철근비(ρ_b): 0.06

력전달 방법(RC주근 정착부에서 SRC부로의 응력전달, SRC부에서 S부로의 응력전달) 및 용수철(지레) 반력의 저감 문제, 철골철근콘크리트부(SRC부) 응력분포 및 응력해석 문제, CB 내력의 평가 등에 연구성과가 집중되고 있으나 아직까지 미해명의 문제가 많이 남아있다 할 수 있다.

따라서 본 연구에서는 위에서 언급한 문제점들 중에 이질구조 접합부위의 파단가능성 등에 주목하여 보주근의 정착방법 및 정착길이(김상현 등, 2000; B.Y.Lim 등, 2001), 전단스팬비(임병호 등, 2001; 이승조 등, 2004), 전단보강방법(임병호 등, 2001) 및 전단보강길이(이승조 등, 2002), 철골철근비(박남일 등, 2001; 임병호 등 2002) 등을 주요 변수로 하여 응력전달 매커니즘, 내력 및 변형특성을 고찰한 기존의 연구성과들을 토대로 단부 RC조, 중앙부 S조로 이루어진 CB의 내력특성에 대하여 검토하였다.

2. 시험체 개요

표 1은 기존의 실험결과를 토대로 본 연구에서 평가 대상으로 한 시험체의 일람을 나타낸 것이다. 시험체는 RC구간 길이(1.5d, 2.5d, 3.5d)를 주요 변수로하여 12개, 보강방법(A : 수직보강(플랜지보강), B : 수평보강(웹보강), C : 수직+수평보강(웹+플랜지보강), D : 경사보강, E : 전단보강근보강(D10-@50), F : 무보강)에 따라 12개, 주근 정착길이(0.1L, 0.15L) 및 보강길이(0.2L,0.3L,0.4L)에 따라 12개, 철골철근비(0.14%, 0.158%, 0.282%, 0.442%,

0.638%)를 주요 변수로하여 8개, 총 44개의 시험체를 평가 대상으로 하였다. 그리고, 대표 시험체 개요 및 상세에 대하여 그림 1에 나타내었다.

3. 내력특성

3.1. 기존식에 의한 내력평가

CB에 대한 내력평가는 현재로서는 RC부분과 S부분의 내력을 조합한 누가내력에 의한 평가방법이 주류를 이루고 있다. CB의 경우 RC부분, 이질구조부분, S부분이 한 부재내에서 공존함으로써 변단면 부재로 존재하며 이것으로 인하여 응력매커니즘이나 응력의 해석에 있어서 여러종류의 변수들이 도입될 경우 내력 평가에 상당한 난점이 있다.

또한, 본 CB의 최종과피위치가 중앙부의 철골매입구간에서 보다는 상대적으로 강성이 작은 단부 RC구간과 이질구조부 영역에서 일어나므로 본 CB의 거동에 미치는 주된 인자의 경우 거시적 측면에서는 단부 RC부분의 강도, 이질구조부분의 보강유무 및 보강구간, 철골에 대한 주근 정착길이가 가장 큰 영향을 미치며, 미시적 측면에서는 철골에 대한 주근정착방법 등이 부차적인 영향을 주고 있다.

따라서 본 연구에서는 CB의 응력매커니즘을 규명하기 위해 기존에 제시되고 있는 내력 평가방법 중 RC부분과 S부분의 내력을 조합한 누가내력에 의한 평가방법(일본건축학회, 일본토목학회 등)과 기존의 연구자들에 의해 여러종류의 CB에 도

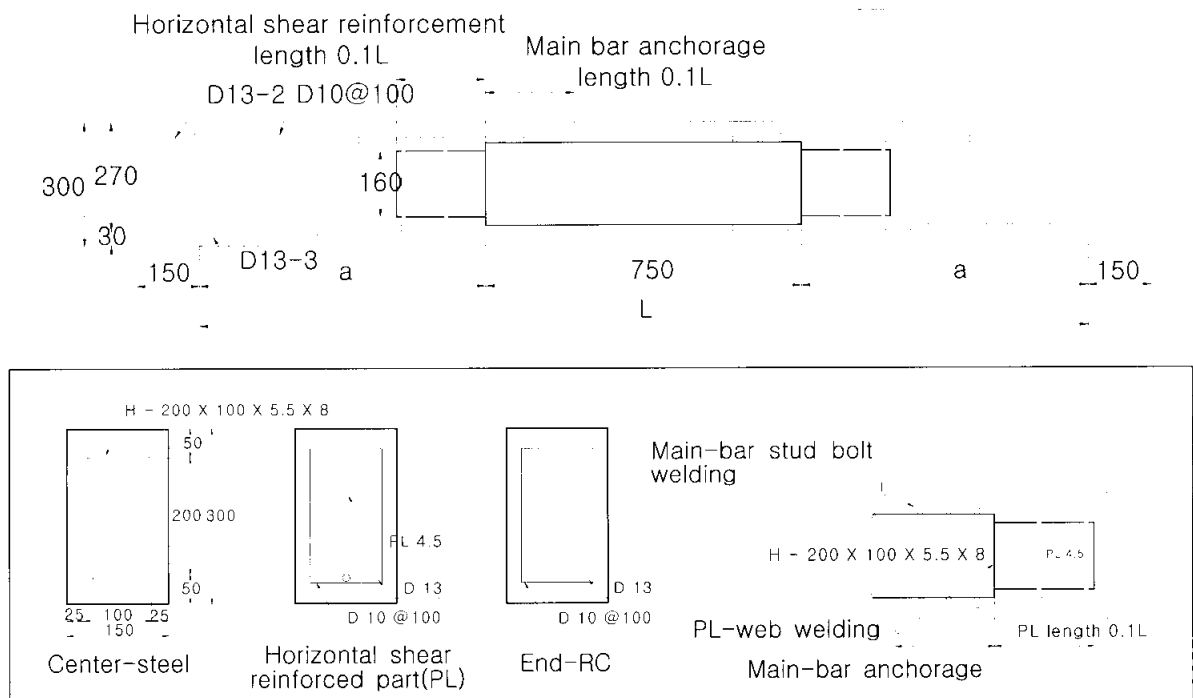


그림 1. 시험체 개요와 단면 상세도

입된 실험변수들을 응용하여 제시한 내력평가식에 의한 평가 방법으로 대별할 수 있다. 그리고, 실험내력과의 상호 비교분석 및 고찰을 통한 내력을 평가하고, 본 논문에서는 주요변수를 바탕으로 도출한 내력식을 제안하고자 한다.

3.2. CB의 계산에 적용된 기존 내력식

3.2.1 일본건축학회(1982), RC구조계산 기준·동해설

$$V_{src} = V_s + V_c \quad (1)$$

여기서; $V_s = t_w \cdot d_w \cdot f_s$ (철골부 전단내력)
 $V_c = b \cdot j [a \cdot f_s + 0.5 \cdot w f_t (P_w - 0.002)]$
 (콘크리트부 전단내력)

3.2.2 일본건축학회(1982), SRC구조계산 기준·동해설

$$V_{src} = V_s + V_c \quad (2)$$

여기서; $V_s = t_w \cdot d_w \cdot f_s$ (철골부 전단내력)
 $V_c = b \cdot j [r a \cdot f_s + 0.5 \cdot w P \cdot w f_t]$
 (콘크리트부 전단내력)

3.2.3 일본토목학회(平成3年版), 콘크리트 표준시방서

$$V_{src} = V_{sy} + V_{ry} \quad (3)$$

여기서; $V_{sy} = f_{vy} \cdot t_w \cdot Z_r$ (철골부 전단내력)
 $V_{ry} = \beta_d \cdot \beta_p \cdot \beta_n \cdot f_{vcd} \cdot b_w \cdot d$
 (콘크리트부 전단내력)
 f_{vy} : 철골의 전단항복강도 t_w : 철골웨브두께
 Z_r : 철골웨브높이
 $\beta_d = \sqrt[4]{\frac{d}{100}}$ (d : mm) $\beta_p = \sqrt[3]{100 P_w}$
 $\beta_n = 1 + \frac{M_0}{M_d}$
 $f_{vcd} = 0.19 \sqrt[3]{f'_c}$ $P_w = \frac{A_s}{b_w \cdot d}$
 f'_c : 콘크리트 압축강도 A_s : 인장축강재 단면적
 b_w : 웨브폭, d : 유효높이

3.2.4 渡辺 忠朋 등 (1994) 제안식

$$V_{src} = V_s + V_c \quad (4)$$

여기서; $V_s = f_{vu} \cdot b_w \cdot d + V_w$
 $f_{vu} = 0.6 f_c^{0.5} \beta_d \cdot \beta_p \cdot \beta_s$ 혹은 $4 f_c^{0.5}$ 중
 큰값
 $\beta_d = \sqrt[4]{\frac{d}{100}}$ (d : mm) $\beta_p = \sqrt[3]{100 P_w}$
 $\beta_s = \frac{5}{1 + \cot^2 \theta}$ $b_w = b - b_f$
 V_s : 트러스이론에 의해 구한 늑근의 전단력(山口 圭一 등, 1995)
 V_w : 전단보강강재가 인장강재로서 트러스기구조
 고려된 이외의 부담 전단력
 $V_c = f(\frac{a}{d}) f_c^{\frac{1}{3}} \beta_d \cdot \beta_p \cdot b_w \cdot d$
 (전단스팬비의 영향을 고려한 전단보강근 이
 외의 전단내력)
 $f(\frac{a}{d}) = 3.58 (\frac{a}{d})^{-1.666}$ ($2.5 \geq \frac{a}{d} \geq 0.5$)
 $f(\frac{a}{d}) = 0.94 (0.75 + 1.4 \frac{d}{a})$ ($\frac{a}{d} \geq 2.5$)

3.2.5 谷村 幸裕 등 (1996) 제안식

$$V_{src} = V_{r0} + V_{ca} + V_s \quad (5)$$

여기서; $V_{r0} = [2.0 - 0.43 (\frac{a}{d}) + 0.04 (\frac{h_f}{Z_r}) \times 100] \times V_{sy}$
 (철골 전단내력)
 $V_{ca} = f(\frac{a}{d}) f_c^{\frac{1}{3}} \beta_d \cdot \beta_p \cdot b_w \cdot d$
 (전단보강근 이외 전단내력)
 $\frac{a}{d}$: 전단스팬비 h_f : 플랜지면적 Z_r : 웨브높이
 $V_{sy} = f_{vy} \cdot t_w \cdot Z_r$, f_{vy} : 철골의 전단항복강도
 t_w : 철골웨브두께, Z_r : 철골웨브높이
 $f(\frac{a}{d}) = 0.2 (0.75 + 1.4 \frac{d}{a})$ ($\frac{a}{d} \geq 2.5$)
 $f(\frac{a}{d}) = 0.76 (\frac{a}{d})^{-1.666}$ ($2.5 \geq \frac{a}{d} \geq 0.5$)

표 2. 기존 내력식에 의한 계산값과 실험내력의 비교

Specimen	Theoretical proposed capacity ($V_{src,the}$)					Experimented capacity $V_{src,test}$	$V_{src,test}/V_{src,the}$					Proposed capacity($V_{src,prop}$)	
	V_{src} Eq(1)	V_{src} Eq(2)	V_{src} Eq(3)	V_{src} Eq(4)	V_{src} Eq(5)		$V_{src,test}/V_{src}$ Eq(1)	$V_{src,test}/V_{src}$ Eq(2)	$V_{src,test}/V_{src}$ Eq(3)	$V_{src,test}/V_{src}$ Eq(4)	$V_{src,test}/V_{src}$ Eq(5)	$V_{src,prop}$ Eq(6),(7)	$V_{src,test}/V_{src,prop}$
RS15F10C201	17.477	16.272	25.595	28.06	32.872	23.115	1.323	1.421	0.903	0.824	0.703	26.113	0.885
RS15F10A201	17.477	16.272	25.595	28.06	32.872	22.385	1.281	1.376	0.875	0.798	0.681	26.113	0.858
RS15S10C201	17.477	16.272	25.595	28.06	32.872	22.397	1.282	1.376	0.875	0.798	0.681	25.900	0.826
RS15S10A201	17.477	16.272	25.595	28.06	32.872	22.209	1.271	1.365	0.868	0.791	0.676	25.900	0.858
RS25F10C201	17.477	16.272	25.595	26.548	23.971	15.690	0.898	0.964	0.613	0.591	0.655	19.053	0.823
RS25F10A201	17.477	16.272	25.595	26.548	23.971	14.894	0.852	0.915	0.582	0.531	0.621	19.053	0.781
RS25S10C201	17.477	16.272	25.595	26.548	23.971	15.421	0.882	0.948	0.603	0.581	0.643	19.301	0.799
RS25S10A201	17.477	16.272	25.595	26.548	23.971	15.018	0.859	0.923	0.587	0.566	0.627	19.301	0.778
RS35F10C201	17.477	16.272	25.595	22.447	18.383	8.737	0.500	0.537	0.341	0.389	0.475	11.993	0.728
RS35F10A201	17.477	16.272	25.595	22.447	18.383	8.533	0.488	0.524	0.333	0.380	0.464	11.993	0.711
RS35S10C201	17.477	16.272	25.595	22.447	18.383	8.885	0.508	0.546	0.347	0.396	0.483	12.702	0.700
RS35S10A201	17.477	16.272	25.595	22.447	18.383	8.332	0.477	0.512	0.326	0.371	0.453	12.702	0.656
Average	17.477	16.272	25.595	24.150	23.960	16.120	0.930	0.950	0.604	0.584	0.597	19.177	0.784
Deviation	0	0	0	2.477	6.232	5.939	0.340	0.365	0.232	0.179	0.097	5.829	0.072
RS25F10F301	17.477	16.272	24.037	24.401	22.514	14.894	0.852	0.915	0.620	0.610	0.662	19.053	0.781
RS25S10F301	17.477	16.272	24.037	24.401	22.514	15.018	0.859	0.923	0.625	0.615	0.667	19.301	0.778
RS25F10E301	20.832	19.627	24.037	24.401	22.514	15.126	0.726	0.771	0.629	0.620	0.672	19.053	0.794
RS25S10E301	20.832	19.627	24.037	24.401	22.514	15.268	0.733	0.778	0.635	0.626	0.678	19.301	0.791
RS25F10D301	19.253	18.053	24.037	24.401	22.514	16.810	0.873	0.931	0.699	0.689	0.747	19.053	0.882
RS25S10D301	19.253	18.053	24.037	24.401	22.514	16.707	0.868	0.925	0.695	0.685	0.742	19.301	0.866
RS25F10B301	17.477	16.272	24.443	28.329	22.763	16.261	0.930	0.999	0.665	0.574	0.714	19.053	0.853
RS25S10B301	17.477	16.272	24.443	28.329	22.763	15.678	0.897	0.963	0.641	0.553	0.689	19.301	0.812
RS25F10C301	17.477	16.272	25.510	31.173	22.943	17.482	1.000	1.074	0.685	0.561	0.762	19.053	0.917
RS25S10C301	17.477	16.272	25.510	31.173	22.943	17.035	0.975	1.047	0.668	0.546	0.742	19.301	0.883
RS25F10A301	17.477	16.272	25.116	29.362	22.828	17.175	0.983	1.055	0.684	0.585	0.752	19.053	0.901
RS25S10A301	17.477	16.272	25.116	29.362	22.828	16.934	0.969	1.041	0.674	0.577	0.742	19.301	0.877
Average	18.332	17.128	24.530	27.011	22.679	16.199	0.889	0.952	0.660	0.603	0.714	19.177	0.845
Deviation	1.349	1.350	0.609	2.861	0.181	0.946	0.090	0.100	0.028	0.047	0.037	0.129	0.050
RS25F10B201	17.477	16.272	24.443	28.338	22.755	15.690	0.898	0.964	0.642	0.554	0.690	19.053	0.823
RS25F10B301	17.477	16.272	24.443	28.338	22.755	16.261	0.930	0.999	0.665	0.574	0.715	19.053	0.853
RS25F10B401	17.477	16.272	24.443	28.338	22.755	16.513	0.945	1.015	0.676	0.583	0.726	19.053	0.866
RS25S10B201	17.477	16.272	24.443	28.338	22.755	15.421	0.882	0.948	0.631	0.544	0.678	19.301	0.799
RS25S10B301	17.477	16.272	24.443	28.338	22.755	15.678	0.897	0.963	0.641	0.553	0.689	19.301	0.812
RS25S10B401	17.477	16.272	24.443	28.338	22.755	16.560	0.948	1.018	0.677	0.584	0.728	19.301	0.858
RS25F15B201	17.477	16.272	24.443	28.338	22.755	20.596	1.178	1.266	0.843	0.727	0.905	23.39	0.881
RS25F15B301	17.477	16.272	24.443	28.338	22.755	22.738	1.301	1.397	0.930	0.802	0.999	23.39	0.972
RS25F15B401	17.477	16.272	24.443	28.338	22.755	26.835	1.535	1.649	1.098	0.947	1.179	23.39	1.147
RS25S15B201	17.477	16.272	24.443	28.338	22.755	20.475	1.172	1.258	0.838	0.723	0.900	24.807	0.826
RS25S15B301	17.477	16.272	24.443	28.338	22.755	24.855	1.422	1.527	1.017	0.877	1.092	24.807	1.002
RS25S15B401	17.477	16.272	24.443	28.338	22.755	29.091	1.665	1.788	1.190	1.027	1.278	24.807	1.173
Average	17.477	16.272	24.443	28.338	22.755	20.059	1.148	1.233	0.821	0.708	0.882	21.638	0.918
Deviation	0	0	0	0	0	4.835	0.276	0.297	0.197	0.170	0.212	2.624	0.128
RS25F10B302	17.862	17.017	26.730	45.632	24.300	20.230	1.133	1.189	0.757	0.443	0.833	10.432	1.940
RS25S10B302	17.862	17.017	26.730	45.632	24.300	21.114	1.182	1.241	0.790	0.463	0.869	9.450	2.234
RS25F10B303	17.862	17.017	27.130	46.520	24.418	26.890	1.505	1.580	0.991	0.578	1.101	14.794	1.818
RS25S10B303	17.862	17.017	27.130	46.520	24.418	27.819	1.557	1.635	1.025	0.598	1.139	14.433	1.927
RS25F10B304	17.862	17.017	27.478	47.295	24.540	33.540	1.878	1.971	1.221	0.709	1.367	21.783	1.539
RS25S10B304	17.862	17.017	27.478	47.295	24.540	36.997	2.071	2.174	1.346	0.782	1.508	22.430	1.650
RS25F10B305	17.862	17.017	27.800	48.008	24.623	39.910	2.234	2.345	1.436	0.831	1.621	27.270	1.464
RS25S10B305	17.862	17.017	27.800	48.008	24.623	43.014	2.408	2.528	1.547	0.896	1.747	28.689	1.499
Average	17.862	17.017	27.285	46.864	24.470	31.189	1.746	1.833	1.139	0.663	1.273	18.660	1.759
Deviation	0	0	0.425	0.945	0.130	8.507	0.476	0.499	0.294	0.168	0.341	7.406	0.268

3.3 내력의 고찰

단부 RC조 및 중앙부 SC조로 구성된 CB에 대하여 기존의 내력평가식으로 평가한 값($V_{src,the}$)과 실험값($V_{src,test}$)을 상호 비교하여 표 2에 나타내었다.

3.3.1 전단스팬비의 영향

단부 RC조 및 중앙부 SC조로 구성된 CB에 대하여 전단스팬비에 따른 실험치와 기존내력 평가치를 비교하여 보면 전반적으로 $V_{src,test}/V_{src,the}$ 의 비는 기존에 제안된 식들에 의한 평가치는 0.326~1.421로서 전단스팬비가 증가함에 따라 많은 편차를 보이고 있으며, a/d 를 고려한 $V_{src,the}$ 식들은 a/d 를 고려치 않은 단순누가내력식들보다 내력치는 다소 높게 나타났다.

그 내용에 대하여 상세히 살펴보면 단순누가내력($V_{src,Eq(1)}$) 및 일본건축학회 SRC규준식($V_{src,Eq(2)}$)에 의한 평가치는 전단스팬비($a/d=1.5$)에서 안정한 값을 보이고 있는데 이것은 기존내력식에서의 a/d 와 철골 Web 보강판 길이에 따른 변수를 고려치 않은 점 때문이다. 그리고, 전단스팬비가 커질수록 과소평가된 내력 값을 전단스팬비가 작아질수록 과대평가 되는 내력 값을 나타냄을 표 2와 그림 2에서 알 수 있었다.

한편, 일본토목학회의 SRC 규준식($V_{src,Eq(3)}$)과 SRC 규준식($V_{src,Eq(2)}$)을 토대로 전단스팬비의 영향을 고려하여 평가식을 만든 渡辺 등(1994) ($V_{src,Eq(4)}$) 및 谷村 등(1996) ($V_{src,Eq(5)}$) 등에 의한 내력평가치는 전단스팬비 및 전단보강근 이외의 횡보강 효과를 반영하고는 있으나 실험내력에 대하여 과소평가되고 있다. 대부분의 시험체(RS15F10C201~RS35S10A201)에 대하여 수직보강과 수직+수평보강법에 따른 내력차이의 영향보다는 전단스팬비에 따른 영향이 더욱 지배적임을 알 수 있었으며, $a/d=1.5$ 를 기준으로 전단스팬비의 증가에 따라 $a/d=2.5$ 의 경우는 33%~36%의 내력이 감소하는 경향을 보였으며, $a/d=3.5$ 는 60~66% 정도의 내력이 감소함을 알 수 있었다.

추후, 더욱 다양한 변수와 실험, 계산을 바탕으로 심도있는 검토가 필요하지만 본 실험결과만으로 살펴 볼 때 $a/d=1.5$ 일 때 장스팬의 내력확보와 합성보의 처짐에 가장 효과적일 것으로 사료된다.

3.3.2 이질구조부 보강방법의 영향

보강방법에 따른 영향은 $a/d=2.5$ 로 주요변수를 일정하게 설정한 것으로서 $V_{src,test}/V_{src,the}$ 는 0.546~1.074로 나타났으며, 그리고 $V_{src,Eq(1)}$ 및 $V_{src,Eq(2)}$ 에 의한 평가치는 0.726~1.074의 값을 보여 이질구조부 보강방법에 따른 영향차이를 보이고 있음

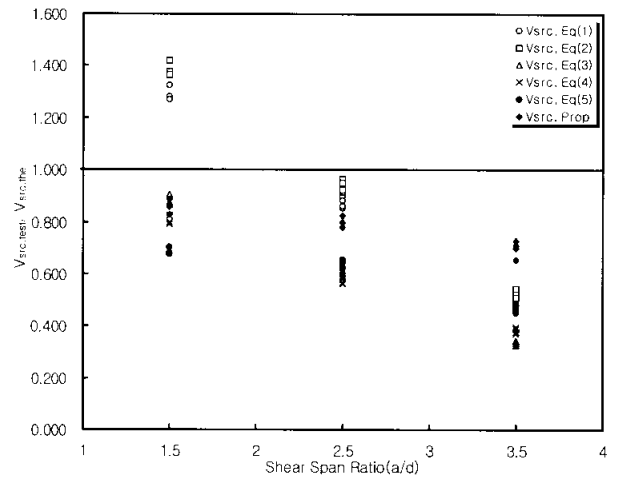


그림 2. 전단스팬비와 $V_{src,test}/V_{src,the}$

을 알 수 있었다. 전단 보강 방법은 여러종류의 보강방법 중에서도 수직보강과 수직+수평보강이 우수한 내력상승효과를 기대할 수 있다. 하지만 $V_{src,Eq(3)}$ 과 $V_{src,Eq(4)}$, $V_{src,Eq(5)}$ 등의 평가치는 실험내력에 비해 54~76% 정도 과소평가되는 값을 나타내었다. 전단보강방법에 대한 $V_{src,test}$ 과 $V_{src,the}$ 의 비를 살펴보면, $V_{src,Eq(1)}$, $Eq(2)$ 의 수직+수평, 수직보강의 방법이 다른 $V_{src,the}$ 들 보다도 1에 근접하는 안정한 값을 보이고 있음을 그림 3에서 알 수 있었다.

특히, 이러한 경향은 플랜지 용접일 때 수직+수평보강)수직보강)경사보강 등으로 좋은 효과를 나타내고 있는데 이점은 다른 보강방법들 보다도 이 두가지 방법이 전단보강방법으로서의 내력분담효과의 우수성과 시험체의 파괴메카니즘의 차이에 따른 것으로 판단된다.

3.3.3 주근 정착길이 및 이질구조부 보강길이의 영향

표 2에서 주근의 정착길이가 전단보강구간 길이 변화에 따른 $V_{src,test}/V_{src,the}$ 의 비는 보 주근의 정착길이를 0.1L로 한 경우 0.544~1.018의 분포를 나타냈다. $V_{src,test}/V_{src,prop}$ 의 비는 0.812~0.866정도의 범위로서 전단내력을 안전측으로 평가하고 있다. 또한 보 주근의 정착길이를 0.15L로 한 경우의 $V_{src,test}/V_{src,the}$ 는 0.723~1.788의 범위로서 다소 편차를 보이는 평가를 하고 있으며, $V_{src,test}/V_{src,prop}$ 는 0.826~1.147정도의 범위로서 주근 정착길이 및 보강길이에 따른 내력을 효과적으로 평가하고 있음을 그림 4~5에서 볼 수 있었다.

따라서, 주근정착길이가 보강길이가 길어질수록 내력치는 상승하는 경향을 보이며, 특히 주근에 대한 정착길이가 길어지는 0.15L과 보강길이 0.4L에서는 내력상승률이 현저함을 알 수 있었다.

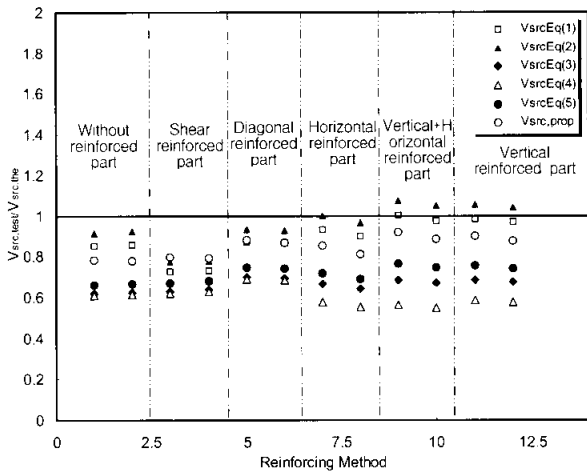


그림 3. 보강방법과 $V_{src,test}/V_{src,the}$

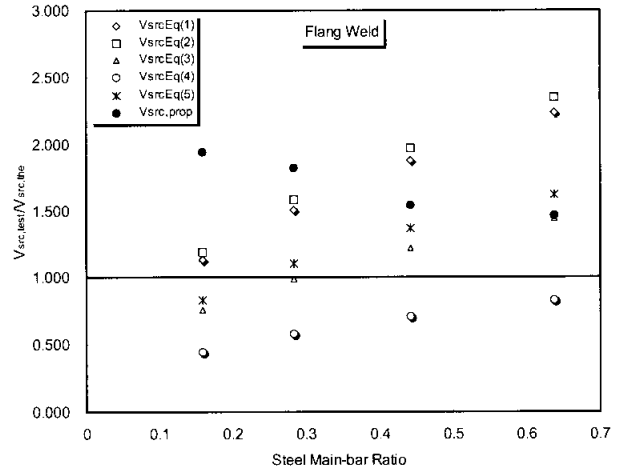


그림 6. Flange 용접에 대한 철골철근비와 $V_{src,test}/V_{src,the}$

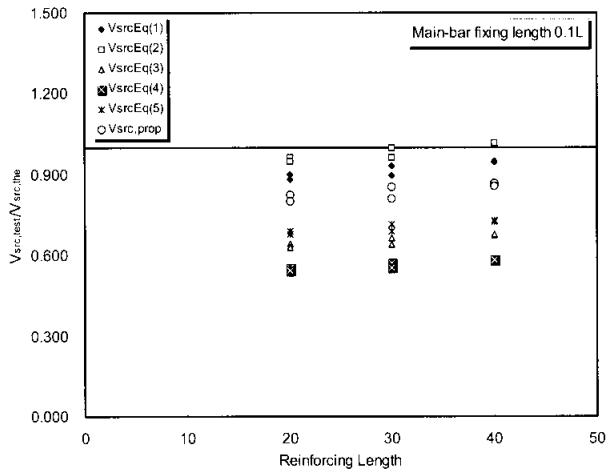


그림 4. 보강길이(주근정착길이 0.1L)와 $V_{src,test}/V_{src,the}$

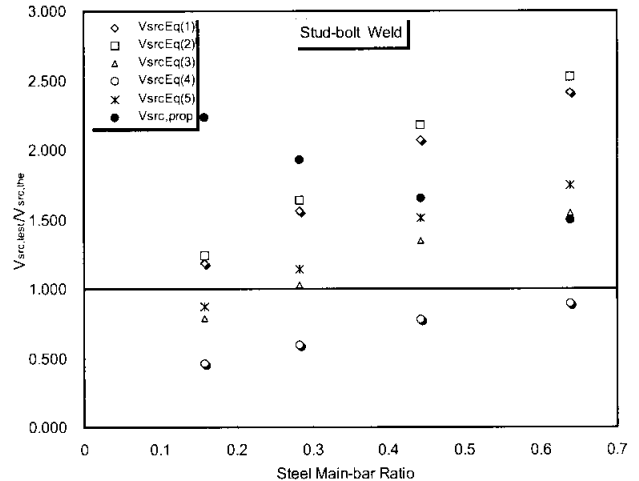


그림 7. Stud-bolt 용접에 대한 철골철근비와 $V_{src,test}/V_{src,the}$

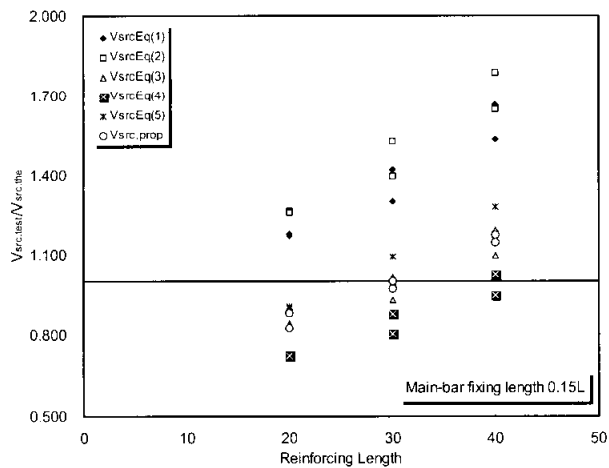


그림 5. 보강길이(주근정착길이 0.15L)와 $V_{src,test}/V_{src,the}$

3.3.4 철골철근비의 영향

표 2와 그림 6~7에서 철골철근비에 따른 기존 제안식에 의한 계산내력과 실험내력의 비를 비교해 보면 $V_{src,test}/V_{src,the}$ 의 비는 철골철근비에 관계없이 기존에 제안된 식들 중 모든 식들이 0.443~2.528로서 철골철근비에 따라 많은 편차를 보이고 있다.

기존에 제시되고 있는 방법들에 의해 평가할 경우 $V_{src,Eq(4)}$ 식을 제외한 모든 내력식들이 철골철근비의 증가에 따른 비도 증가함을 알 수 있었다. 특히, $V_{src,Eq(1),Eq(2)}$ 는 철골철근비를 변수로한 모든 시험체에 대하여 다소높은 값을 보이고 있는데 이러한 경향은 단순누가내력식과 ρ/ρ_b 의 증가와 더불어 철골철근비가 증가되었을 때 현저함을 알 수 있었다.

이상에서와 같이 본 CB의 내력특성을 살펴보면 전단스팬비가 적을수록, 보강방법에 따라서는 수평, 수직 복합 보강방법, 주근 정착길이 및 전단보강길이가 길수록, 철골철근비가 높을

수록 내력상승면에서는 유효한 것으로 나타났으며, 기존 내력 평가법을 적용할 경우 여러 가지 제 변수 도입시 실험내력과 많은 편차를 보여주고 있으며 내력평가의 탄력성을 가질 수 없다.

따라서 CB의 내력 특성을 결정짓는 요인으로는 위에서 열거한 요인 외에도 플랜지면적/웹높이비, 콘크리트강도 등과 같은 아직까지 미해명의 문제들이 많이 남아 있으며 지속적인 연구가 수행되어야 될 것으로 사료된다.

3.4. 내력평가식의 제안

기존내력 평가식에 따라 CB의 내력을 평가한 결과 이질구조부의 전단내력이 전반적인 내력결정에 영향을 미치며, 전단스팬비(RC구간 길이), 이질구조부 보강방법 및 보강길이, 주근의 정착길이, 철골철근비에 따라 많은 편차가 나타났다.

이러한 이질구조부 전단내력에 영향을 미치는 인자로는 제요인중에서 전단스팬비, 철골철근비와 주근정착길이가 특히 많은 영향을 미치는 것으로 사료되며, 이들을 변수로하여 아래에서 다중회귀분석에 따라 CB의 내력평가식을 제시하였다.

1) 플랜지 용접 정착의 경우

$$V_{flange} = 0.71 V_{a/d} + 101.4 V_{sm} + 0.87 V_{mf} + 13.823 \quad (6)$$

2) 스타드볼트 용접 정착의 경우

$$V_{stud-bolt} = 0.66 V_{a/d} + 115.9 V_{sm} + 1.1 V_{mf} + 8.56 \quad (7)$$

여기서 ; $V_{a/d}$ = 전단스팬비 내력

V_{sm} = 철골철근비 내력

V_{mf} = 주근 정착길이 내력

제안 내력식을 바탕으로 본 CB의 내력을 평가한 결과를 표 2와 그림 8에 함께 나타내었으며, $V_{src.test}/V_{src.prop}$ 의 내력비는 플랜지용접의 경우 0.711~1.940의 분포를 보였다. 한편, 스타드볼트 용접의 경우는 0.656~2.234의 분포경향으로 나타났다.

그림 8의 타원형 부분의 값이 상승한 요인은 표 2에서도 알 수 있으며, 특히, 3.3.4절에서 언급하였듯이 철골철근비의 영향이 가장 크게 작용하였다. 그리고, 여러 가지 제 변수 도입의 영향으로 인하여 실험내력의 평균값, 표준편차가 증가하여 이론내력 제안식에도 영향을 미쳤기 때문인 것으로 사료된다.

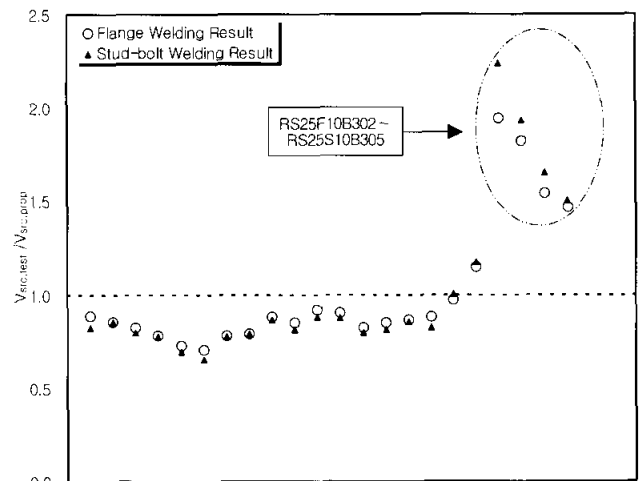


그림 8. CB 내력식에 대한 실험값과 제안식에 의한 이론값의 비교

4. 결 론

본 연구에서는 단부 RC조, 중앙부 SC조로 이루어진 CB에 대하여 전단스팬비, 전단보강방법 및 보강길이, 보 주근 정착길이, 철골철근비를 변수로 하여 내력평가에 대한 특성을 이론적으로 고찰하였으며, 그 결과를 요약하면 아래와 같다.

- (1) 전단스팬비에 따른 CB의 내력은 RC구간 길이가 증가할수록 $V_{src.test}/V_{src.the}$ 의 비는 점진적으로 감소하며 그러한 경향은 $a/d=3.5$ 이상에서 더욱 현저하게 감소함을 알 수 있었다.
- (2) 이질구조부 보강방법에 따른 내력은 전단스팬비(RC구간 길이)의 변화(1.5→2.5→3.5)에 따른 내력상승률의 경우보다 전단스팬비를 2.5로 고정하고 이질구조부에 대한 여러 가지 전단보강방법을 통해 높은 내력상승효과를 기대할 수 있음을 알 수 있었다. 특히, 수직+수평보강방법이 다른 보강법보다도 우수한 결과를 보였는데, 이 점은 부재 내력의 분담율에서 우선 주근에 의한 휨저항이 전체적인 거동에 지배를 이루고 있는 점과 두 번째는 시험체의 파괴메카니즘의 차이, 마지막으로 철골부위에 대한 철골플랜지 용접접합에 따른 부가내력이 더해졌기 때문인 것으로 사료된다.
- (3) 주근정착길이 0.15L과 이질구조부 보강길이 0.4L에서는 내력상승률이 현저함을 알 수 있었다. 추후, 이 부분에 대한 내력상승 및 내력 분담을 확보와 증가, 보의 처짐 감소를 위해서는 보강길이를 0.15L이상과 보강길이 0.4L 이상, 고강도콘크리트의 사용 등의 변수를 바탕으로 실험 및 해석을 실시하여 상호 비교 검토를 하여야 할 것이다.

- (4) 철골철근비는 내력식 $V_{src, Eq(1), Eq(2)}$ 에서 다소 높은 내력 평가치를 보였는데, 이러한 경향은 단순누가내력식과 ρ / ρ_b 의 증가와 더불어 철골철근비가 증가되었을 때 현저함을 알 수 있었다.
- (5) 기존내력 평가식에 따라 본 CB의 내력을 평가한 결과 RC부의 휨내력이 전반적인 내력결정에 영향을 미치는 것으로 나타났으며, CB의 RC부의 인장철근비, 구간의 길이, 주근의 정착길이, 이질구조부 보강방법에 따라 많은 편차가 나타났으며, 실험값을 대체로 과소평가하는 경향이 나타났다. 그 경향은 $V_{src, Eq(3)-(5)}$ 식 일 때 더욱 현저하였다.
- (6) RC구간의 길이, 주근정착길이, 철골철근비의 변화가 내력결정에 가장 큰 영향을 미친다는 이론적 고찰을 바탕으로 회귀분석에 의한 내력 평가식을 제안하였다.
- (7) RC구간 길이의 한계 및 중앙부 스패의 확보, 부재의 단면, 고강도콘크리트 및 강재비의 변화와 함께 이질구조부의 보강에 대한 영향을 고려한 CB의 도입을 바탕으로 추가적인 검토가 필요하다고 사료된다.

참 고 문 헌

김상헌 외 4인 (2000) 이질구조부 보주근 정착방법에 따른 혼 합구조보의 구조적 특성에 관한 연구, 한국콘크리트 학회 학술발표논문집, 한국콘크리트학회, 제18권 8호, pp.121-126.

임병호 외 2인 (2001) 단부 플랜지가 없는 혼합구조보의 휨 거 동 특성에 관한 연구, 대한건축학회논문집, 대한건축 학회, 제17권 6호, pp.27-34.

박남일 외 3인 (2001) 철골철근비에 따른 복합구조보의 구조 적 특성에 관한 연구, 한국강구조학회 학술발표논문집, 한국강구조학회, 제13권 6호, pp.366-371.

임병호 외 2인 (2001) 이질구조부 보강방법에 따른 혼합구조 보의 휨거동 특성에 관한 연구, 한국강구조학회논문집,

한국강구조학회, 제13권 4호, pp.419-431.

임병호 외 2인 (2002) 철골철근비에 따른 혼합구조보의 내력 및 변형 특성에 관한 연구, 한국강구조학회논문집, 한국 강구조학회, 제14권 1호, pp.87-94.

이승조 외 2인 (2002) 이질구조부 보강판 길이에 따른 혼합 구 조보의 특성에 관한 연구, 한국콘크리트학회 학술발 표논문집, 한국콘크리트학회, 제14권 1호, pp.297-302.

이승조 외 3인 (2004) 이종구조로 이루어진 혼합구조보의 거 동 특성 연구, 한국강구조학회학술발표논문집, 한국강구 조학회, pp.233-239.

B.Y.Lim, J.M Park, W.J, Kim (2001) A study on the properties of flexural behavior of composite structure beams with attaching method & length of main bars of different types of structure, *Steel & Composite Structure*, pp.1293-1300.

谷村 幸裕 外 3人 (1996) 鐵骨鐵筋콘크리트部材の耐力, 콘 크리트工學年次論文報告集, Vol. 18, No. 2, pp. 1331-1336.

渡辺 忠朋 外 2人 (1994) せん斷補強鐵筋を用いない鐵骨鐵筋 콘크리트梁の耐力について, 콘크리트工學年次論文 報告 集, Vol. 16, No. 2 pp.1193-1198.

日本建築學會 (1982) 鐵骨鐵筋콘크리트構造計算規準・同 解説.

日本建築學會 (1982) 鐵筋콘크리트構造計算規準・同解説.

日本建築學會 (1982) 鐵骨構造計算規準・同解説

山口圭一 外 3人 (1995) SRC部材の鐵骨-RC間の應力傳達に おけるリブの効果に關する研究(その2), 日本建築學會大會 學術梗概集, pp.695-696.

日本土木學會 (平成3年版) 設計編, 콘크리트標準示方書, 平成3年10月

(접수일자 : 2004. 8. 10 / 심사일 2004. 8. 24 / 심사완료일 2005. 3. 31)