

RCS 보-기둥 접합부의 전단강도 산정식 평가

Estimation Formula for Shear Strength of RCS Beam-Column Joint

장극관¹⁾ 전충근^{2)*}
Kug-Kwan Chang Choong-Geun Jeon

Abstract

This study is on the shear strength of the internal joints of RCS composite structure consisting of reinforced concrete column and steel beam. As a newly structure system, the composite system has been developed to fully utilize the advantages of reinforced concrete column and steel beam, which also include economic and practical joint detail. Nevertheless stress transfer mechanism and structural behavior of the joints had not been still clearly revealed and shown much difference from the proposed equation. In this study, by observing the crossing of reinforced concrete column through steel beam to the RCS structure beam type, thirty seven shear failure specimens were selected and applied to the 5 major equations which is used to calculate the shear strength of RCS joint. Through the regression analysis, modified equation which is more reliable and approximate results for shear strength of RCS joints was proposed.

Keywords : Composite system, RCS joint Shear strength, Parameter analysis, Estimation formula of shear strength

1. 서론

최근까지 도심지의 효율적 개발과 시대의 요구변화로 건축물의 초고층화, 대형화로써 사회적 요인의 변화에 대한 능동적인 대처의 필요성이 대두되고 있다. 이러한 여건을 개선하기 위하여 철근콘크리트 기둥과 강재보로 이루어진 혼합구조 시스템(이하 RCS구조라 한다)이 개발되어 왔다. RCS구조시스템은 내화성 및 경제성을 갖춘 철근콘크리트 기둥에 장스팬 구조가 가능한 철골 보를 접합시킨 구조로써 각 재료의 장점을 최대한 살린 혼합구조시스템이다. 국내 및 국외에서는 시공성 및 경제성이 고려된 다양한 접합부 상세가 개발되었고 건물에 적용되어져 왔으며 1980년대부터 주로 미국 및 일본에서 활발하게 연구가 진행되었다. 미국의 경우, 초기에는 중약진 지역의 중·저층 건물에 적용을 위하여 개발되었으나 점차 강진지역의 고층건물로 적용, 발전시켰다. 일본의 경우 강진지역에서의 중·저층 건축물에 적용하기 위해

접합부 강도를 높이고 조립, 설치 및 콘크리트 타설이 용이한 접합부 상세에 대한 연구가 주로 이루어졌다. 우리나라의 경우, 1990년대부터 학계 및 건설회사 연구소에서 국내 지역 조건에 맞는 시공성이 용이한 접합부 상세에 대한 연구가 진행되었다 (SamSung, 1999).

접합부 전단강도 산정식은 1994년 ASCE (미국토목학회)에서 Sheikh (1987)와 Deierlein (1988) 등의 연구결과를 바탕으로 구조설계지침서를 발표하였고, 1992년 Sakaguchi는 AIJ (일본 건축학회)기준식을 수정하여 산정식을 제안하였다. Kanno (1993)는 ASCE기준식을 바탕으로 보강요소를 추가한 수정식을 제안하였으며 그 이후에도 국외에서는 Wight J. K. (2001), Wei Li (2011), 등이 국내에서는 Choi (1997), Kim (2001), Moon (2006), Lee (2005), Choi (2007) 등의 연구자에 의해 추가적인 연구가 진행되어 왔다.

RCS구조 접합부는 콘크리트와 철골의 이질재료의 혼합사용과 접합부의 복잡한 구성요소로 인하여 전단내력 산정에

1) 정회원, 서울과학기술대학교 건축과 교수
2) 정회원, 서울과학기술대학교 석사과정, 교신저자

* Corresponding author : jcg870906@nate.com

• 본 논문에 대한 토의를 2015년 8월 31일까지 학회로 보내주시면 2015년 9월호에 토론결과를 게재하겠습니다.

있어 많은 불확실성이 있고 제안된 전단강도 산정식들은 그 결과값에 있어서도 많은 차이를 보이고 있다.

그리하여 본 연구에서는 철골보가 철근콘크리트 기둥을 관통하는 보 관통형 RCS구조를 대상으로 하여 접합부 형태에 따라서 기존의 국·내외에서 기 수행된 실험자료를 바탕으로 주로 인용되는 5가지 기존의 전단강도 산정식들의 적정성을 평가하였고 접합부 구성요소별로 내력의 영향도를 분석하여 직교보의 유무에 따른 접합부의 합리적인 전단강도 추정식을 제안하고자 하였다.

2. 기존 전단강도 산정식 평가

기존의 전단강도 산정식은 미국의 경우 RC 구조에서, 일본의 경우 SRC 구조에서 제시된 기본식을 수정·개선된 것으로 양자 모두 전단강도 값을 산정을 함에 있어 불확실한 부분을 포함하고 있다. 여기서 선택된 기존의 5개 산정식, 즉 ASCE 제안식, Kanno 제안식, M-AIJ기준식 (수정된 일본 학회식), Sakaguch 제안식 및 Wight J. K가 제시한 식 등 이들의 실험식에서의 접합부의 전단강도는 1)강재 웹 패널 (steel web panel)과 2)내부 콘크리트의 압축 스트럿 (concrete compression strut), 그리고 3)외부 띠철근 및 콘크리트의 압축장 (concrete compression field) 등의 메카니즘을 바탕으로 산정되고 있다 (Wight J. K., 2001). 여기에 접합부를 구성하는 상세에 따라 직교보가 있는 경우 (접합부의 구속효과)와 기둥과 보의 접합부에 전단키가 설치된 경우로 대별할 수 있고 사용된 전단키의 종류 (형상)에 따라 그 요소들의 영향이 고려되고 있음을 알 수 있다.

2.1 ASCE 제안식

Sheikh 등과 Deierlein 등의 연구결과를 바탕으로 제안된 ASCE 기준식의 경우, Fig. 1에서 보는 바와 같이 강재 웹 패널 (steel web panel), 내부 콘크리트의 압축 스트럿 (concrete compression strut), 외부 띠철근 및 콘크리트의 압축장 (concrete compression field)으로 분류하여 접합부의 전단강도를 산정하고 있으며 전단변형도 0.01 (1%)일 때로 안전측으로 볼 수 있다. 최대강도인 접합부의 전단변형이 0.02(2%)일 때를 사용하지 않는 이유로는 접합부의 소성변형을 고려하지 않고 설계할 수 있는 한계값을 0.01 (1%)로 가정하였고, 이를 뒷받침 하는 근거로는 기존의 철근콘크리트 및 철골 접합부의 실험에서 관측되었다 (Sheikh, 1987; Deierlein, 1988).

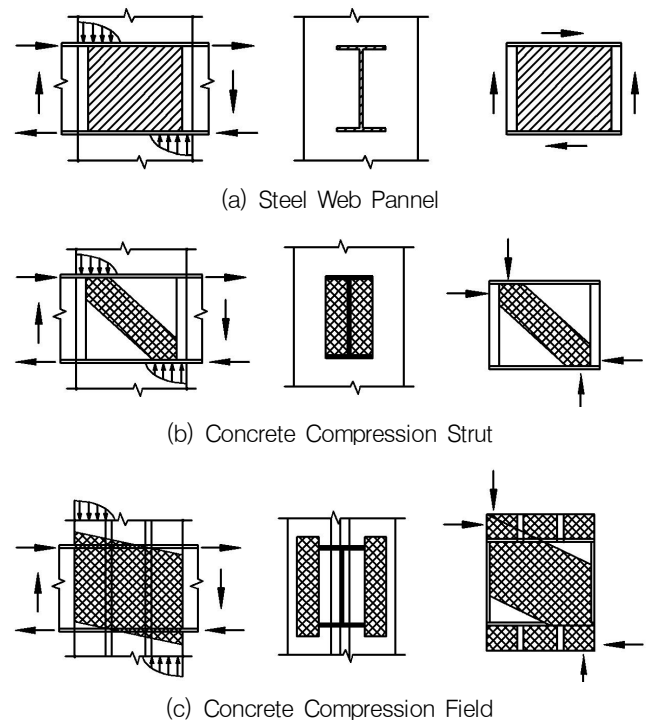


Fig. 1 Shear resistance mechanism of connection

1990년대 중반부터 적용된 가로보 (Transverse beam), 밴드 플레이트 (Band plate), 커버플레이트 (Cover plate) 등의 새로운 전단키의 상세에 따른 전단에 대한 효과는 고려되지 않아서 전단내력을 예측함에 있어 다소 과소평가 되고 있다 (Choi, 2007).

2.2 Kanno 제안식

Kanno 식은 ASCE 기준식을 일부 수정하여 제안된 식으로써 ASCE에서는 고려하지 않은 밴드 플레이트 및 직교보의 효과를 고려하였고 Fig. 2에서 보여지는 바와 같이 골조 효과 또한 반영하여 제안되었다 (여기서 골조효과란 ASCE 제안식의 경우 전단키 설치시 보에서 보입되는 외력이 외부 판넬로 전달되지만 전단키가 없는 경우 외부판넬에는 트러스 기구가 형성되지 않는 것으로 가정한 것과는 다르게 전단키가 없어도 철골보와 FBP로 이루어지는 골조구조에 의해 저항을 하는 효과) (Kanno, 1993). Kanno 식의 경우, 내부 전단 저항요소 (V_{bi})는 ASCE 기준식과는 달리 철골보, 내부 콘크리트 그리고 V_{sf} 로 구성하고 있다 (여기서 V_{sf} 는 Kanno 식에서 추가로 고려해주는 골조효과). 또한 Kanno 식은 전단 변형도 0.012 (1.2%)에서의 강도를 사용하고 ASCE 제안식에서 0.75d로 고려하는 수평지압응력의 중심간 거리를 0.9d

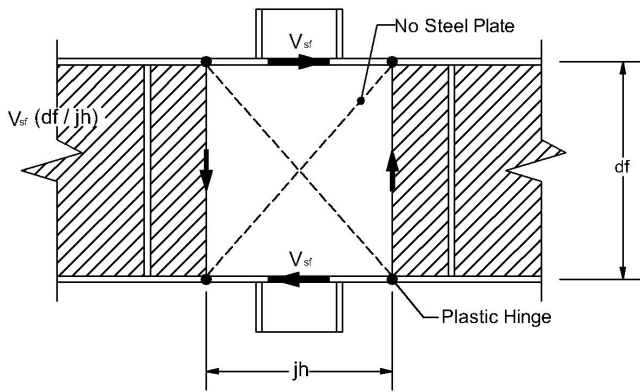


Fig. 2 Steel frame

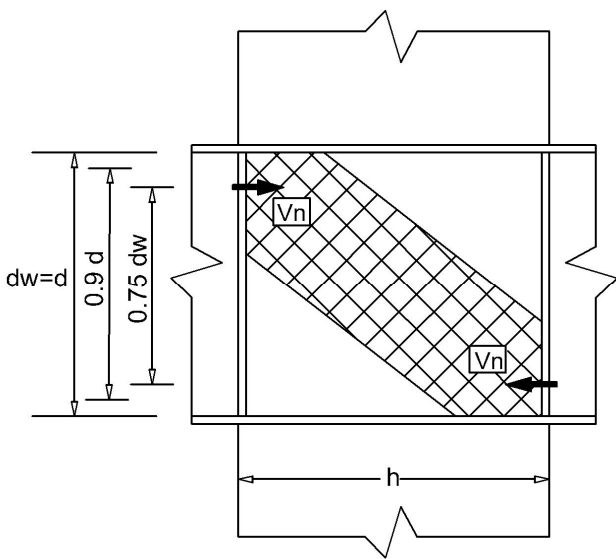


Fig. 3 Concrete compression strut

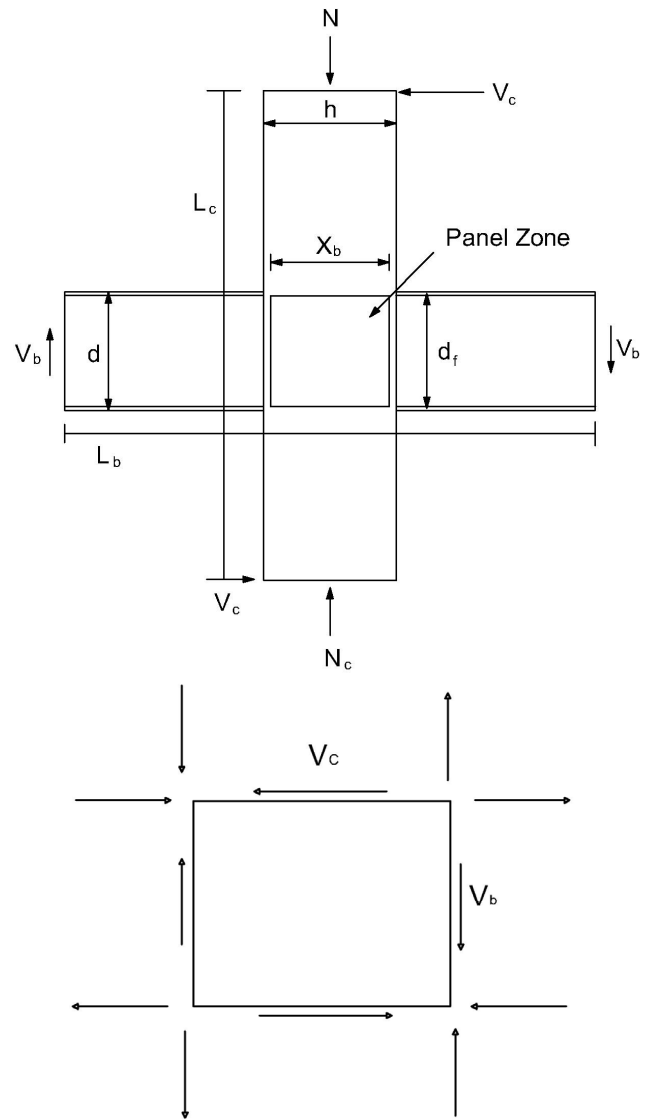


Fig. 4 Beam-Column connection (AIJ-SRC)

로 크게 고려하고 (Fig. 3 참조). 따라서 C/M (계산값/측정값)은 ASCE 기준식에 비하여 더 근사한 예측값을 얻을 수 있다.

2.3 M-AIJ (수정된 일본학회식) 기준식

M-AIJ식의 경우, 기존의 AIJ (일본학회식)식과 비교하였을 때 횡보강근의 효과를 반영하는 계수를 사용함에 있어서 K_{ce} 로 일정하게 사용한 AIJ식과는 다르게 내부콘크리트와 외부콘크리트로 분류하여 사용하였고 (K_{ce1} , K_{ce2}), 접합부의 횡보강근비 (ρ_{sh})의 효과를 반감하였고 접합부의 유효폭을 $b/2$ 에서 b_f 로 일정하게 가정하고 있다. 또한, ASCE식과 비교하였을 때 보 웨브의 응력 산정시 전단응력이 항복값에 도달하였을 때의 계수값 ($1/\sqrt{3}$)을 20% 상향 조정된 것과

접합부 형상을 고려한 계수 (δ_j) 값을 사용하는 점에 차이가 있다. 접합부의 전단응력 발생은 Fig. 4에 도시된 바와 같다.

2.4 Sakaguchi 제안식

Sakaguchi는 커버 플레이트 (cover plate)가 포함된 접합부를 고려할 수 있으며 커버 플레이트가 없는 경우에도 적용이 가능하도록 수정, 적용할 수 있게 하였다. 판넬존은 M-AIJ식과는 다르게 d_s (보가 탄성상태로 가정한 단면에서의 인장과 압축력 사이의 거리)와 x_b (매립된 강재기둥의 플랜지 중심사이의 거리)에 의해 결정되며 d_s 는 M-AIJ식에서 사용된 d_f 보다 작은 값을 가진다.

2.5 Wight 제안식

Wight J. K.에 의해 제안된 실험식도 ASCE 기준식과 유사하지만 내부접합부와 외부접합부, 접합부의 보강상세 형태 등에 따라 각각의 계수값을 적용 시킬 수 있는점에서 차이가 있다. 따라서 기존의 기타 전단강도 산정식에 비하여 적용이 간편한 장점이 있다.

본 연구에서 분석된 각 기준식 및 제안식은 Table 1에 나타내었다.

3. 기존 제안식의 비교 및 분석

ASCE, Kanno, M-AIJ, Sakaguchi, 및 Wight 등 5개의 전단강도 산정식을 바탕으로 보 관통형 RCS접합부의 전단키를 사용한 실험체 및 직교방향의 보가 있는 실험체 등 총 37개를 선정하여 통계적 방법 및 회기분석을 통하여 기존의 제안식들의 신뢰도를 평가하였다.

3.1 전단키 (Shear key type)가 있는 실험체

여기서는 수직철근, 스티드, E-FBP, small column 등 전단키의 보강상세에 따라 C/M (실험값에 대한 각 제안식의 계산값의 상대비)를 통하여 제안식의 신뢰도를 분석하였다. Fig. 5는 여러 형태의 전단키가 포함된 실험체의 C/M을 도

시한 그림이다. ASCE 제안식에서는 상대비가 평균 0.75, 표준편차가 0.08로 나타났고 (Fig. 5(a)), Kanno 제안식은 평균 0.91, 표준편차는 0.11로 산정되었다 (Fig. 5(b)). M-AIJ 기준식에서는 평균 0.60, 표준편차가 0.15로 (Fig. 5(c)), Sakaguchi 제안식의 경우는 평균과 표준편차가 각각 0.74, 0.20로 나타났다 (Fig. 5(d)). 또한 Wight 식은 평균과 표준편차가 각각 0.92, 0.10로 산정되었다 (Fig. 5(e)). Fig. 5에서는 크게 두가지 양상을 볼 수 있는데 전단키의 효과를 고려한 계수를 사용하는 ASCE, Kanno, Wight의 식의 경우 전반적으로 C/M가 0.75~0.92, 표준편차는 0.08~0.11의 값을 보였다. 반면 전단키의 효과를 고려하지 않은 M-AIJ 기준식 및 Sakaguchi 제안식의 경우에는 Fig. 5(c), (d)와 같이 C/M가 0.60~0.74 정도로 낮게 평가되고 표준편차 역시 0.15~0.20으로 비교적 큰 산포도를 보여주고 있다. 전단키의 형태인 수직철근, E-FBP (Extended Face bearing plate) 및 스티드 (보 플랜지면에 수직으로 용접)는 내부 패널에서 외부 패널로의 응력을 전달하는 요소인데 전단키의 효과가 고려된 ASCE, Kanno, Wight의 식은 M-AIJ 기준식 및 Sakaguchi 식에 비하여 C/M가 높게 나타나지만 세 가지 식 모두 전단키의 효과가 다소 과소평가된 것으로 보여진다.

3.2 T.B (직교보)가 있는 실험체

Fig. 6은 직교보가 있는 실험체를 각 제안식에 적용하여

Table 1 Difference of previous equations

| | V_s | | V_{sf} | | V_n | V'_n |
|-------|--|---|-----------------------|--|--|--|
| ASCE | $0.6F_{yw}t_ujh$ | $jh = \text{반복계산}$ | - | - | $1.7\sqrt{f_{ck}}b_p h \leq 0.5f_{ck}b_p d_w$ | $V'_c + V'_s \leq 1.7\sqrt{f_{ck}}b_p h$ |
| Kanno | $t_w \frac{F_{yw}}{\sqrt{3}} jh$ | $jh = 0.8h$ (보강 유) $jh = h$ (보강 무) | $\frac{4M_{pf}}{d_f}$ | $M_{pf} = \frac{t_f^2}{4} F_{yf} b_f$ (보강 무) $M_{pf} = \frac{t_s^2}{4} F_{yf} b_f$ (보강 유) | $1.65\sqrt{f_{ck}}b_p h$ | $V_c + V_s \leq 1.65\sqrt{f_{ck}}b_p h$ |
| M-AIJ | $\frac{1.2}{\sqrt{3}} K_s F_{yw}$ | x_b | - | - | $K_{ce1} f_s \delta_j$ | $K_{ce2} \frac{\rho_{sh}}{2} F_{ysh}$ |
| Saka | $K_1 \frac{F_{yw}}{\sqrt{3}} t_u d_s$ | - | - | - | $K_2 \frac{F_{yc}}{\sqrt{3}} \cdot 2 \cdot t_c \cdot d_c$ | $K_3 \cdot 0.3 f_{ck} \cdot b \cdot d_c$ |
| Wight | $k_w \frac{f_y}{\sqrt{3}} t_u h_c$ | - | - | - | $0.30 v_{base} f'_c (-0.0048 f'_c + 1.13) k_1 k_2 h_c (b_f - t_w)$ | $0.30 v_{base} f'_c (-0.0048 f'_c + 1.13) k_1 k_2 k_3 h_c b_o$ |
| V_b | $\frac{V_s d_f + 0.75 V_n d_w + V'_n (d + d_0)}{L_b (L_c - d) - jh}$ (ASCE) | | | | $\frac{0.9d}{L_b - h} (V_s + V_{sf} + V_n + V'_n)$ (Kanno) | |
| | $\frac{(\frac{1.2}{\sqrt{3}} K_s F_{yw} + K_{ce1} f_s \delta_j + K_{ce2} \frac{\rho_{sh}}{2} F_{ysh})}{(L_b - x_b) - d_f \frac{L_b}{L_c}}$ (M-AIJ) | | | | $\frac{(K_1 \frac{F_{yw}}{\sqrt{3}} t_u d_s + 2K_2 \frac{F_{yc}}{\sqrt{3}} t_c d_c + 0.3K_3 f_{ck} b d_c)}{((L_b - x_b) - d_f \frac{L_b}{L_c})}$ (Sakaguchi) | |
| | $V_{n,s} \left\{ \frac{(d - t_f) L_c}{L_c (L_b - h_c) - L_b (d - t_f)} \right\}$ (Wight J. K.) | | | | - | |

Table 2 Specimen list

| Group | V_{exp} (MPa) | Calculated V_n (MPa) | | | | |
|-------|-----------------|------------------------|-------|-------|-----------|-------|
| | | ASCE | Kanno | M-AIJ | Sakaguchi | Wight |
| A | 245.0 | 198.5 | 224.1 | 132.4 | 137.3 | 193.4 |
| | 374.0 | 321.3 | 389.5 | 189.9 | 366.1 | 361.5 |
| | 374.0 | 291.4 | 369.0 | 183.4 | 366.1 | 361.5 |
| | 434.0 | 319.0 | 389.5 | 189.9 | 134.5 | 361.5 |
| | 179.3 | 119.6 | 205.4 | 155.3 | 103.8 | 184.3 |
| | 234.4 | 211.0 | 222.3 | 182.8 | 191.8 | 226.8 |
| | 154.0 | 100.1 | 136.3 | 138.9 | 208.7 | 126.7 |
| | 213.5 | 172.9 | 220.0 | 138.8 | 208.7 | 239.4 |
| | 331.0 | 231.6 | 253.8 | 150.2 | 215.6 | 247.6 |
| | 192.2 | 153.8 | 199.1 | 132.6 | 158.3 | 181.6 |
| | 148.0 | 96.3 | 158.4 | 77.8 | 119.7 | 128.9 |
| | 186.4 | 158.4 | 183.7 | 132.3 | 145.4 | 268.1 |
| | 307.0 | 239.4 | 281.6 | 150.2 | 190.3 | 213.2 |
| | 280.0 | 198.9 | 268.5 | 139.0 | 204.6 | 220.2 |
| | 284.1 | 203.0 | 260.5 | 244.4 | 175.6 | 220.2 |
| | B | 202.0 | 143.4 | 191.6 | 171.6 | 160.2 |
| 218.0 | | 148.2 | 213.1 | 180.9 | 160.2 | 157.5 |
| 230.0 | | 147.5 | 213.1 | 179.7 | 160.2 | 251.3 |
| 166.0 | | 109.5 | 170.3 | 144.3 | 126.4 | 194.1 |
| 160.0 | | 108.6 | 166.8 | 145.3 | 126.4 | 246.9 |
| 204.0 | | 147.0 | 232.0 | 187.9 | 215.7 | 261.9 |
| 284.3 | | 228.6 | 250.4 | 173.0 | 161.8 | 334.2 |
| 283.5 | | 234.3 | 256.3 | 176.6 | 161.8 | 349.1 |
| 266.3 | | 211.9 | 233.7 | 163.9 | 161.8 | 290.3 |
| 239.8 | | 213.4 | 235.2 | 164.7 | 161.8 | 294.3 |
| 240.9 | | 119.6 | 154.6 | 149.9 | 104.4 | 206.7 |
| 295.6 | | 185.5 | 220.9 | 233.2 | 141.4 | 310.4 |
| 251.8 | | 119.6 | 175.6 | 154.8 | 103.8 | 193.5 |
| 235.4 | | 119.6 | 176.0 | 151.4 | 103.8 | 194.3 |
| 302.0 | | 185.5 | 242.0 | 250.2 | 140.6 | 266.8 |
| 245.8 | | 149.4 | 172.7 | 92.7 | 103.8 | 187.6 |
| 248.1 | | 149.4 | 173.6 | 92.8 | 103.8 | 189.3 |
| 327.9 | | 274.6 | 285.1 | 244.9 | 175.6 | 380.8 |
| 159.1 | 81.1 | 144.8 | 152.7 | 146.8 | 150.7 | |
| 190.2 | 81.8 | 146.5 | 156.0 | 148.5 | 154.0 | |
| 234.2 | 110.0 | 187.4 | 208.4 | 189.4 | 206.4 | |
| 168.8 | 82.7 | 148.5 | 157.0 | 150.5 | 155.0 | |

A : Shear key type의 실험체
 B : T.B(직교보)가 포함된 실험체

C/M를 비교하였다. ASCE식의 경우, Fig. 6(a)에서 보여지는 바와 같이 평균과 표준편차가 각각 0.64, 0.13으로 나타났다. 식을 적용한 C/M가 64%로 낮게 나온 이유는 직교보의 구속효과를 고려할 수 있는 변수가 제안식에 고려되지 않았기 때문에 이러한 효과가 반영되지 않아서 낮게 산정

되는 것으로 보여지며 Kanno 식의 경우 C/M가 0.93, 표준편차가 0.10로 나타났다 (Fig. 6(b)). Kanno식은 응력을 전달하는 전단키의 효과를 고려한 계수, C값을 직교보의 유무를 모두 고려할 수 가 있기 때문에 Fig. 6(b)와 같은 양호한 결과가 나타남을 볼 수 있다. M-AIJ식과 Sakaguchi식의 경우, 평균과 표준편차가 각각 0.74, 0.16 그리고 0.66, 0.18로 나타났으며 (Fig. 6(c), (d)) M-AIJ 기준식 및 Sakaguchi 제안식은 직교보의 효과를 고려하고는 있지만 단순히 내부, 외부 및 코너의 접합등 세가지 접합부로 분류하고 있어서 접합 상태에 따른 정확한 접합부의 구속효과가 엄격하게는 반영되지 않으며 따라서 추정되는 전단강도도 다소 근사한 값으로 볼 수 있다. Wight 제안식의 경우에는 평균은 0.96, 표준편차는 0.15로 산정되었으며 (Fig. 6(e)) 이는 내부 및 외부 접합부 그리고 접합부의 보강상세에 따른 다양한 계수값이 적용, 가능하므로 비교적 신뢰성있는 내력산정이 가능할 것으로 판단된다.

3.3 전단강도 산정식 제안

전술한 각 제안식들을 비교, 분석 및 평가를 통해 신뢰성 있는 전단강도 산정식이 제시될 필요가 있다. Fig. 6에서 보는 바와 같이 Kanno식의 경우 직교보의 영향에 따른 계산값과 측정값을 비교할 때 실제 직교보의 영향을 적게 고려하였음을 알 수 있다. 그 이유는 Kanno (1993), Lee (2005) 등의 연구에서 기술된 직교보의 영향에 따른 강도의 증가율이 15% 가량 상승하지만 Kanno식에 의한 강도 상승률을 산정한 결과 증가율은 10%정도로 평가되고 있는 것으로 보고되었다 (Lee, 2005).

본 연구에서는 C/M가 가장 높고 비교적 가장 적은 산포도를 보이는 Kanno식을 기준으로 전단내력 산정시 다소 과소 평가 되어있는 부분에 대해 합리적인 전단강도 산정을 위해 C 값을 수정 하고자 한다. 여기서 C값이라 함은 내부패널에서 외부 패널로 응력을 전달하는 전단키의 효과를 고려한 계수로 Kanno식의 경우 에서는 $(x/h)(0.3 + 0.7 \cdot y/b_f)$ ASCE식의 경우 $C = (x/h)(y/b_f)$ 식을 사용하고 있고 각각의 보강상세별 계수값 산정은 Kanno등의 논문을 통해 확인할 수 있다 (Kanno, 1993). (여기서 x, y는 전단키의 보강상세에 따른 응력 블록의 길이로써 C값을 계산하는데 필요하다.) C값의 중요성은 Fig. 5에서 확인할 있다. C값이 사용되지 않은 M-AIJ 또는 Sakaguchi 식은 전단키가 고려된 실험체의 전단강도를 산정함에 있어 C/M가 작게 나오는 것을 확인할 수

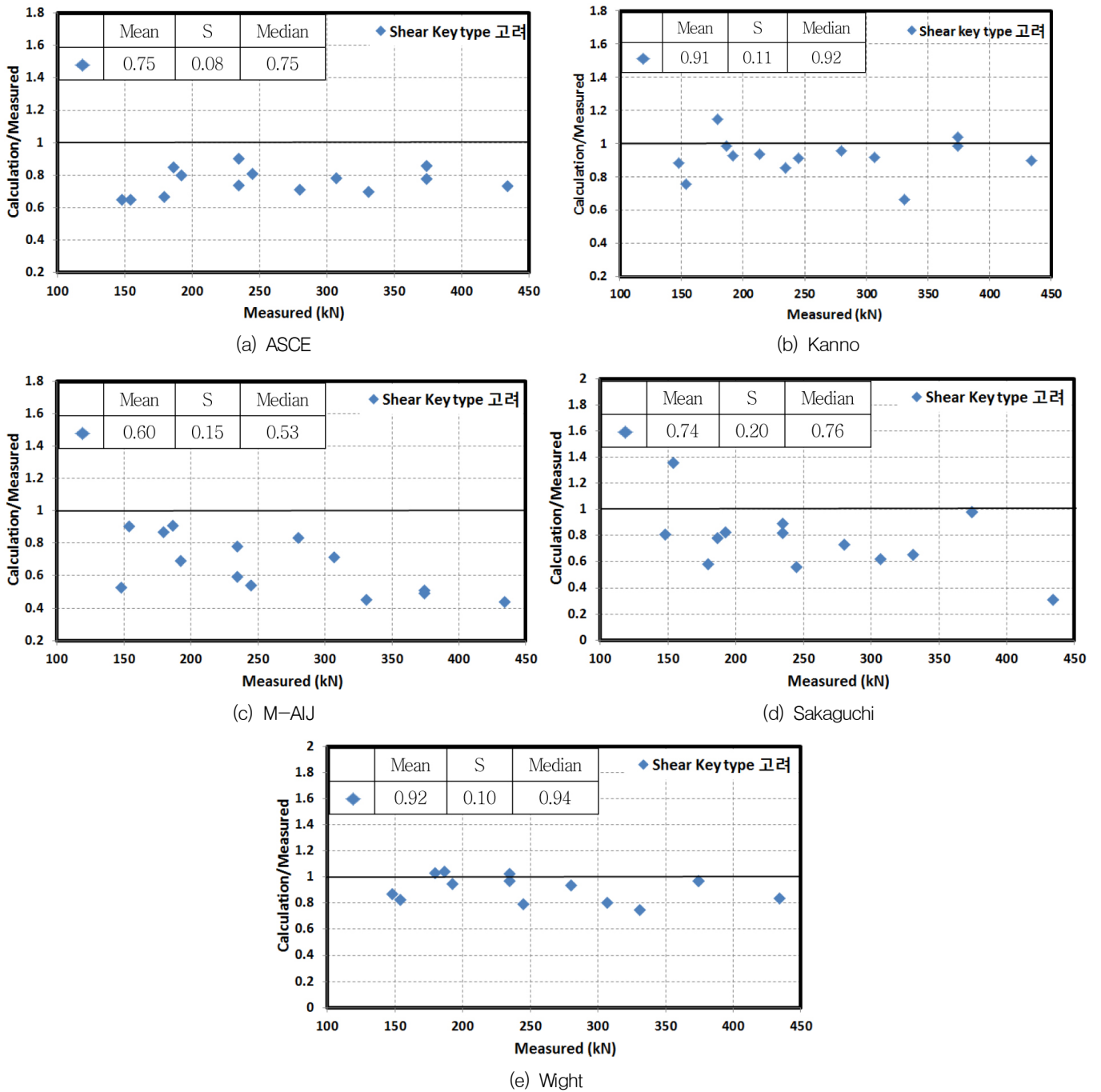
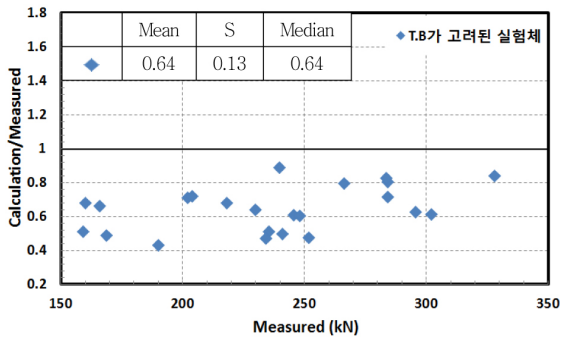


Fig. 5 Shear strength comparison of shear key type

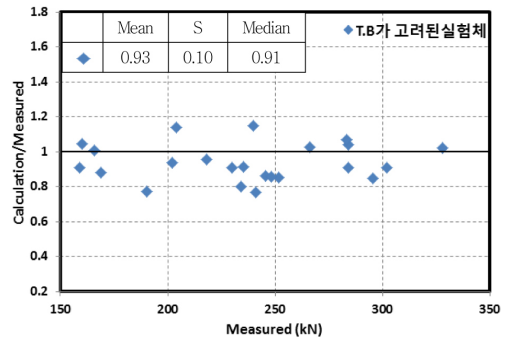
있다. 반면에 C값을 사용하는 ASCE, Kanno, Wight 식의 경우 일정하고 작은 편차를 보이고 있다. 이러한 C값에 의해 영향을 받는 변수는 외부 콘크리트 패널의 유효폭 b_o 로 VJR, stud 및 직교보 변수의 경우 b_o 를 낮게 고려하였으므로 이를 적절히 반영할 수 있는 계수를 Table 3에 나타내었다. Fig. 7과 Fig. 8은 수정된 C값을 적용하여 나타낸 그래프이다. Fig. 7의 경우 Fig. 5(b)와 비교하여 C/M가 0.07 정도 증가되었

고 표준편차 또한 0.01 줄이는 결과가 나타났다. Fig. 8의 경우, Fig. 6(b)와 비교하여 C/M가 0.02 증가되었다. 이는 제안된 C값을 적용하면 전단내력을 예측시에 보다 합리적인 접합부의 전단강도 산정이 가능할 것으로 판단된다.

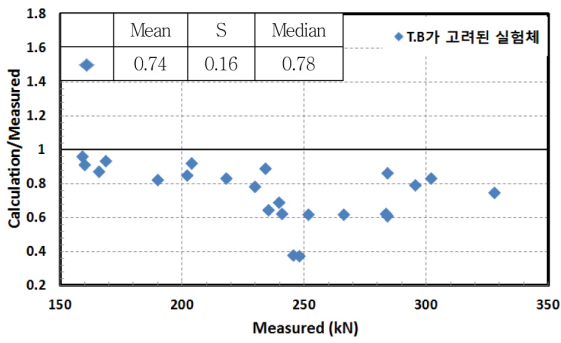
기존의 C값과 수정된 C값의 산정식 및 그 결과의 증가량은 Table 3에, 기존의 C값과 수정된 C값을 사용하였을 경우의 C/M는 Table 4에 각각 나타내었다.



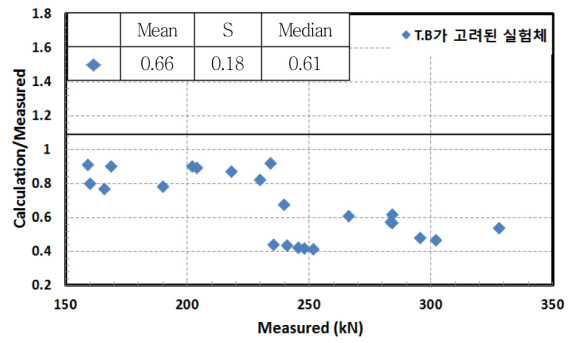
(a) ASCE



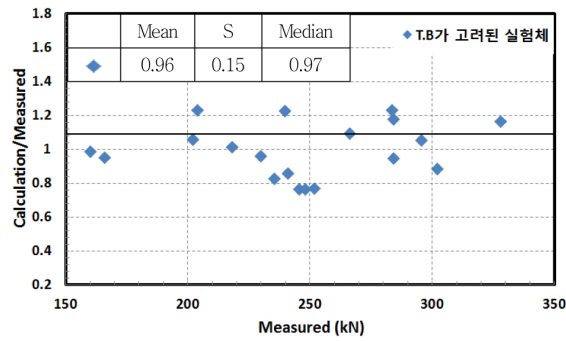
(b) Kanno



(c) M-AIJ



(d) Sakaguchi



(e) Wight

Fig. 6 Shear strength comparison of T.B. type

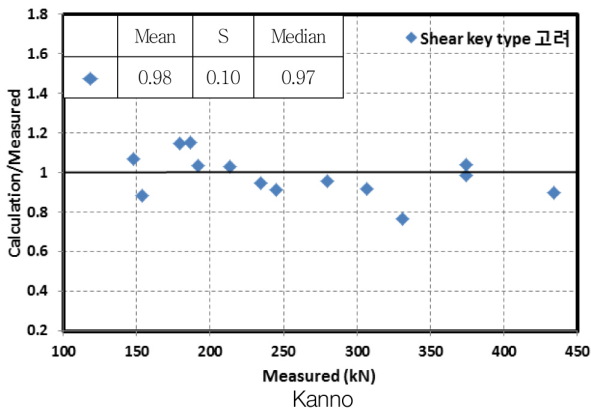


Fig. 7 Strength comparison of measured and proposed equation (shear key type)

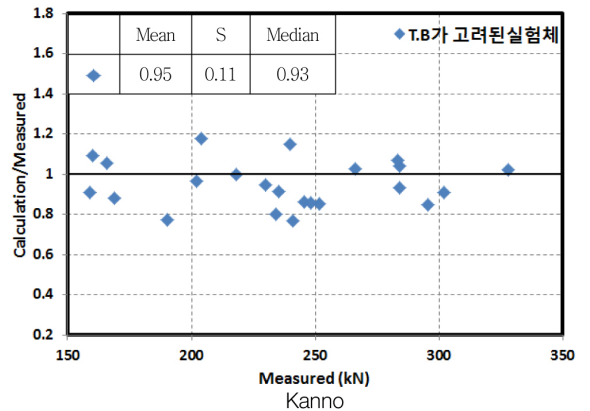


Fig. 8 Strength comparison of measured and proposed equation (T.B. type)

Table 3 Suggested coefficient

| | | C(without T.B) | C(with T.B) |
|-----|-------|---|--|
| 기존 | | $C = \left(\frac{x}{h}\right)(0.3 + 0.7\frac{y}{b_f}) \leq 1$ | $C = \frac{1}{2.5}\left(\frac{d}{b-b_i}\right) \leq 1$ |
| 수정안 | | $C = 1.5\left\{\left(\frac{x}{h}\right)(0.3 + 0.7\frac{y}{b_f})\right\} \leq 1$ | $C = \frac{1}{2.2}\left(\frac{d}{b-b_i}\right)$ |
| 증가량 | C_p | 0.5~0.65 | 0.50~0.63 |
| | C_m | 0.75~0.9 | 0.70~0.84 |

C_p : Existing coefficient C_m : Modified coefficient

Table 4 Increase ratio of predicted and modified shear strength

| | 증가량 (%) | |
|----------------|---------|-----|
| | 기존식 | 수정식 |
| Shear key type | 91% | 98% |
| 직교보 포함 | 93% | 95% |

4. 결론

본 연구에서는 RCS 보-기둥 접합부의 전단강도 추정에 사용되고 있는 5개의 기존식 및 제안식의 분석을 통해 기존식들의 신뢰성을 분석하였으며, 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) ASCE 기존식의 경우 RCS접합부 전단변형도 0.01 (1% 변형도)일 때의 전단강도를 추정한 식으로써 안전측으로 볼 수 있으며 접합부 전단내력을 다소 과소평가 하고 있다고 할 수 있다. 또한 직교보를 고려하는 요소가 없기에 전단내력을 예측함에 있어서 직교보가 사용된 변수에서는 평균이 11% 낮아지고 표준편차가 0.05 커지는 경향이 나타났다.
- (2) Kanno식의 경우 ASCE식에서 고려하지 않았던 V_{sf} 및 직교보의 효과를 고려함으로써 다른 제안식에 비해 상대적으로 신뢰성 있는 전단강도 값을 산정할 수 있으나 실제 직교보에 의한 효과를 약 5% 정도 과소평가함이 나타났다.
- (3) M-AIJ 및 Sakaguchi식의 경우 전단키의 영향을 고려할 수 있는 요소가 없기 때문에 전단내력이 낮게 추정되는 경향을 볼 수 있다. 또한 각각의 저항기구에 따라 체적 개념으로 전단강도를 산정하기 때문에 실제로 전단강도에 영향을 미치는 변수에 대하여 고려하지 못하는 부분이 있다.
- (4) Wight 제안식 역시 Kanno 식과 마찬가지로 전단키의 효과와 직교보의 효과를 모두 고려할 수 있어서 전단키가 포함된 경우는 비교적 실험치에 근사한 값을 얻을

을 수 있으나 직교보가 포함된 경우는 표준편차가 다소 증가하는 경향을 보였다.

- (5) 본 연구에서는 회기분석을 통하여 과소평가 하고있는 C 값을 수정 제안함으로써 C/M를 2%~7% 줄일 수 있었으며 따라서 신뢰성있는 전단내력 산정을 위해 제안된 C 값을 사용함이 합리적이라 판단된다. ($C = \frac{1}{2.2}\left(\frac{d}{b-b_i}\right)$ 와 $C = 1.5\left\{\left(\frac{x}{h}\right)(0.3 + 0.7\frac{y}{b_f})\right\} \leq 1$)

용어정리

- V_s : 강재보 웨브 공칭강도
- V_n : 내부 콘크리트 공칭강도
- V_n' : 외부패널의 압축장에 의한 공칭강도
- d_f : 보 플랜지의 중심간 거리
- t_f : 플랜지 두께
- b_f : 강재보 플랜지 폭
- F_{yw} : 보 웨브의 항복강도
- t_w : 보 웨브의 두께
- j_h : 지압내력의 합력 사이의 거리
- d : 보의 춤 (기둥에 평행)
- d_0 : E-FBP의 유효높이
- d_w : 보 웨브의 높이
- b_p : FBP (지압판) 폭
- h : 보에 평행한 기둥 춤
- t_s : 증가된 두께
- A_{sh} : 접합부 띠근의 단면적
- F_{ysh} : 접합부 보강의 항복강도
- b_o : 외부 콘크리트의 판넬의 유효폭
- t_e : E-FBP (연장지압판), band plate
- K_s : 강재 웨브의 체적
- f_s : 접합부 콘크리트의 전단강도
- δ_j : 접합부 형상을 고려한 계수
(내부접합=3, 외부접합=2, 모서리접합=1)
- K_{ce1} : 콘크리트 전단저항에 대한 유효접합부 콘크리트 체적
($= b_f \cdot d_f \cdot x_b$)
- K_{ce2} : 유효접합부 콘크리트 체적($= (b - b_f) \cdot d_f \cdot x_b$)
- K_1, K_2, K_3 : 커버 플레이트의 유무에 따른 계수값

감사의 글

본 연구는 2014년 서울과학기술대학교 산학협력단 학술연구비지원 (과제번호 : 2014-0411)으로 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

References

1. Tauqir Muhammad Sheikh, B.Sc., M.S. (1987), Moment Connections Between Steel Beams and concrete Column, Master Dissertation presented to the Faculty of the University of texas at austin 41-63
2. Gregory Gerard Deierlein (1988), Design of moment connections for composite framed structures, Dissertation presented to the Faculty of the university of texas at austin 109-135
3. Parra-Montesions G, Wight JK. (2001) Modeling shear behavior of hybrid RCS beam-column connections, ASCE J Struct Eng 127(1):3-11
4. Ryoichi Kanno (1993) Strength, Deformation, and Seismic Resistance of Joints between Steel Beams and Reinforced Concrete Columns, Vol. 1, Master Dissertation presented to the Faculty of the Cornell University
5. SamSung C&T Corporation (1999) Development and Performance Evaluation of LC Frame, Hanyang University mega structural system research center report
6. Lee Eun-Jin (2005) Shear Behavior of Hybrid Connection consisted of Reinforced Concrete Column and Steel Beam, Master Dissertation presented to the Faculty of the Hanyang University
7. Choi Keun-Do (2007) Shear Performance with confining effect on Reinforced Concrete Column and Steel Beam Joint, Master Dissertation presented to the Faculty of the Hanyang University 5-12
8. Kim Young-Soo (2001) A Structural Behavior Study on T-type Joint for RCS Composite System, Kyungbok collection of writings No.5 115-137
9. Kim Young-Soo (2002) A Structural Development Study on T-type Joint for RCS Composite System, Kyungbok collection of writings No.6 135-160
10. Choi Oan-Chul (1997) Composite RCS Beam-Column Frame System: An Update, Architectural institute of Korea 17(2):1207-1211
11. Wei Li (2011) Seismic performance of composite reinforced concrete and steel moment frame structures - state-of-the-art, Elsevier, composites: Part B 42:190-206
12. Moon, Jeong-Ho (2006) Statistical Analysis on the Shear Strength Equations of RC Column-Steel Beam Joint, Architectural institute of Korea 22(4):11-18

Received : 09/12/2014

Revised : 11/20/2014

Accepted : 02/13/2015

요 지

본 연구는 철근콘크리트 기둥과 철판보로 이루어진 RCS합성구조에서 내부접합부의 전단강도에 관한 연구이다. 새로운 건물 구조시스템인 합성구조 시스템은 철근콘크리트 기둥과 철판보의 장점을 최대한 살린 구조로서 경제적, 실용적인 접합부 상세들이 많이 개발되어 왔다. 그럼에도 불구하고 접합부에 대한 구조적 거동 및 응력전달기구가 명확히 밝혀지지 않고 있으며 여전히 제안된 식들로부터 많은 차이를 보이고 있다. 따라서 본 연구에서는 접합부에서 철판보가 철근콘크리트 기둥을 관통하는 보 관통형 RCS 구조체를 대상으로 하여 기존의 전단파괴 실험체 37개를 접합부 형태에 따라 기존에 제안된 5개의 주요식들에 적용하였다. 회기분석을 통한 각 제안식의 신뢰성을 검증하였고, 기존식들의 단점을 보완할 수 있는 전단강도 추정식을 제안하였다.

핵심 용어 : RCS구조, 접합부 전단강도, 변수분석, 근사추정식