

# RC 기둥과 철골보로 이루어진 복합구조 접합부의 전단강도식에 대한 통계적 고찰

## Statistical Analysis on the Shear Strength equation of RC Column - Steel Beam Joints

이 은 진\*                      문 정 호\*\*                      이 리 형\*\*\*  
Lee, Eun-Jin                      Moon, Jeong-Ho                      Lee, Li-Hyung

### ABSTRACT

The shear strength equations of the joint with RC column and steel beam are used the proposed equations of ASCE, Kanno and AIJ but there are not applied variable joint details. Until now the variable experimental studies are practiced but the studies of predicted shear strength equation are not integrated and only the applicable equations to each case are proposed. The purpose of this study is statistical analysis for the proposed equations applied existing experiments. The proposed equations are ASCE, Kanno, M-Kanno, AIJ and M-AIJ. The 47 of shear failure experiments are used in this study. The consequence is that the Kanno's equation is very analogized with the experimental result but ASCE equation underestimates about 42%. AIJ and M-AIJ are not proper equations for estimating the shear strength of RCS joint.

### 1. 서론

철근콘크리트 기둥과 강재보로 이루어진 복합구조 시스템(이하 "RCS구조"라 한다.)은 각각의 재료적 장점으로 인해 다양한 실험적 연구가 선진외국을 중심으로 행하여졌으며, 이를 바탕으로 해석적 연구가 한창 진행 중이다. 그러나 RCS접합부의 전단강도를 예측하는 식은 미국과 일본을 중심으로 RC접합부의 개념을 그대로 가정한 식을 적용하거나 또는 SRC규준을 그대로 적용하는 등 체계적이고 일반적인 강도식이 없는 실정이다. 다양한 실험연구가 진행되면서 각각의 실정에 맞는 강도식을 제안한 연구자들도 있으나, 이들의 식을 일반적인 RCS 접합부의 전단강도식으로 사용하기에 적합한지를 판단할만한 근거가 없다. 이에 본 연구에서는 현재 RCS접합부의 전단강도를 계산하는 제안식을 고찰한 뒤, 전단파괴형 실험자료들을 취합하여 각각의 제안식에 적용하여 실험치와 계산치의 관계를 통계학적 측면에서 분석하고자 한다. 이를 통해 근거가 미약한 가정으로 인해 생길 수 있는 오차 등의 범위를 파악하여 이를 수용할 수 있는지 여부를 결정하고 각각의 식들의 신뢰도를 파악하여 RCS

\* 정회원, 한양대 건축공학과 박사 수료  
\*\* 정회원, 한남대 건축공학과 교수, 공학박사  
\*\*\* 정회원, 한양대 건축공학부 교수, 공학박사

접합부의 전단 강도 예측식으로 적합한지를 판단하고자 한다. 또한 기본 통계자료를 이용하여 일반적인 RCS접합부의 전단강도를 예측할 수 있는 식을 도출해내는 근거자료를 만들고자 한다.

## 2. 기존 강도 제안식

RCS접합부에서는 철근 콘크리트 접합부나 강재 접합부와 같은 단일 재료를 사용한 접합부와는 달리 강재보 웨브 패널, 내부 콘크리트 압축 스트럿과 외부 콘크리트 압축장과 같은 3가지의 전단저항기구로 형성된다. 기존의 강도식은 이러한 특성을 반영하기 위해서 3가지 전단저항기구에서의 강도를 따로 산정한 다음 이를 합하는 방법으로 접합부의 전단내력을 산정하고 있다. 각각의 제안식들을 표1에 나타내었다.

기존의 RCS접합부의 전단강도식을 기존 실험 자료에 적용하였을 때, 각각의 제안식은 각각의 실험체에 대해서는 실험값과 비교적 근사한 계산값을 보이나, 타실험체에 적용하여 그 분포를 살펴보면 일치하지 않는 것을 알 수 있었다.

표 1 기존 강도제안식

	전 단 강 도 식
ASCE	$V_b = \frac{(V_s \cdot d_f + 0.75 \cdot V_n \cdot d_w + V_n' (d + d_o))}{\left(\frac{L_b}{L_c} \cdot (L_c - d) - jh\right)}$
Kanno	$V_b = \frac{0.9d}{L_b - h} \cdot (V_s + V_n + V_{sf}) + \frac{0.9d}{L_b - h} (V_n')$
M-Kanno	$V_b = \frac{L_c}{L_b(L_c - d_j)} \cdot (2M_{ci} + 2M_{co})$
AIJ	$V_b = \frac{\left(\frac{1.2}{\sqrt{3}} K_s F_{yw} + K_{cef_s} \delta_j + K_{ccp_{sh}} F_{ysh}\right)}{\left((L_b - x_b) - d_f \frac{L_b}{L_c}\right)}$
M-AIJ	$V_b = \frac{\left(\frac{1.2}{\sqrt{3}} K_s F_{yw} + K_{cef_s} \delta_j + K_{ccz} \frac{p_{sh}}{2} F_{ysh}\right)}{\left((L_b - x_b) - d_f \frac{L_b}{L_c}\right)}$

## 3. 대상실험체

본 연구에서는 기존 제안식과 비교·분석을 위해 기존에 실험된 RCS 접합부 실험체 자료 중 전단 파괴형 실험체 47개를 선정하였다. ASCE식의 기초 실험체인 Sheikh 및 Deierlein 실험체와 Kanno 실험체 그리고 일본의 Kei 실험체를 국외 실험체로 선정하였다. 또한 S사와 H대학교에서 연구된 실험체와 H사와 G연구소에서 연구된 국내 실험체로 선정하였다.

## 4. 통계적 분석

모집단의 크기는 95%신뢰수준을 유지하려면 최소 35개의 표본이 필요하고, 99%의 신뢰수준을 유지하려면 59개의 표본이 필요하다. 따라서 본 연구의 대상 실험자료는 47개이므로 95%이상의 신뢰수준을 유지하는 것으로 이는 기존의 강도식을 평가하는데 충분히 만족할 수 있는 기준으로 삼을 수 있다.

### 4.1 기술통계 분석

ASCE식의 경우 실험값/예측값이 최소 0.86에서 최대 2.11의 값을 가진다. 평균 1.42로 ASCE식이 평균으로 판단할 때 실험값에 비해 약 42%가량 과소평가함을 알 수 있다. 이에 반해 Kanno식은 평균값이 7%로 매우 근접한 예측값을 가진다. 5가지 강도식 중 표준편차가 가장 작은 값은 Kanno식으로 이는 Kanno식을 적용하였을 때 대부분의 실험체들이 평균에서

표 2. 기술통계 결과

	ASCE	Kanno	M-Kanno	AIJ	M-AIJ
크기	47	47	47	47	47
최소치	.86	.78	.83	.40	.51
최대치	2.11	1.47	1.56	2.51	2.67
평균	1.42	1.07	1.13	1.32	1.33
평균표준오차	.043	.02	.023	.064	.057
표준편차	.29695	.13538	.15921	.43756	.39170
분산	.088	.018	.025	.191	.153
왜도	.873	.732	.477	.597	1.435
왜도표준오차	.347	.347	.347	.347	.347
첨도	.225	1.205	.475	.883	4.533
첨도표준오차	.681	.681	.681	.681	.681

크게 떨어지지 않았음을 의미한다. 왜도는 전부 0보다 크기 때문에 모든 값들이 오른쪽으로 긴 꼬리를 가지는 분포모양을 가지는데, 이는 대부분의 제안식이 안전한 설계를 위해 강도감소계수를 적용하기 때문에 나타나는 결과이다. 특히 ASCE와 M-AIJ식은 왜도값이 크게 계산되어 정규분포곡선을 그렸을 때 오른쪽으로 긴 꼬리를 형성하게 되는데, 이는 두 식이 다른 식에 비해 강도값을 과소평가한다는 것을 의미한다. 첨도는 전부 0보다 크게 계산되므로 표준정규분포보다 뾰족한 분포의 모양을 갖게 되는데 이는 자료들이 평균값을 중심으로 고루 분포되지 않고 특정값의 빈도수가 높게 나타난다는 의미이다.

표 3 T-test

	Paired Differences					t	Sig.
	Mean	Std. Dev.	Std. Error Mean	95% Confidence Interval of the Difference			
				Lower	Upper		
ASCE	-.421	.297	.0433	-.508	-.333	-9.71	.000
Kanno	-.069	.135	.0198	-.109	-.029	-3.48	.001
M_Kanno	-.130	.159	.0232	-.176	-.083	-5.58	.000
AIJ	-.322	.438	.0638	-.450	-.193	-5.04	.000
M_AIJ	-.330	.392	.0571	-.445	-.215	-5.78	.000

4.2 T-검정

본 연구에서는 신뢰구간 95%로, 결측값은 분석에 포함시키지 않도록 하여 T-검정을 실시하였다.

표 3에서 보는 바와 같이 실험값 대 Kanno식을 비교하면 평균 0.069로 유의수준  $p > 0.001$ 에서 유의적인 차이를 보이지 않았고, 나머지 강도식들은  $p < 0.000$ 에서 유의적인 차이를 보임을 알 수 있다. 즉, Kanno식은 실험값과 계산값이 통계적으로 거의 같은 값으로 볼 수 있고, 나머지 다른 제안식들은 같은 값으로 볼 수 없다는 뜻이다.

4.3 요인분석

주성분방법에 의해 요인 분석을 실시하였을 때 본 연구의 실험체는 아이겐 값이 1을 넘는 4개의 요인을 추출할 수 있다. 각 실험체 요소들을 분석에 의해 다음과 같은 4가지 type으로 분류하여, 추출된 4가지 요인과 회전하여 분석한 결과는 표4에 나타내었다.

- ① FBP 없고 Shear Key가 없는 경우
- ② FBP 있고 Shear Key가 없는 경우
- ③ FBP 있고 Shear Key가 있는 경우
- ④ FBP 있고 직교보가 있는 경우

요인1과 회전 후 상관관계가 높은 것은 C-type의 실험체들임을 알 수 있다. 그러나 M-AIJ식의 A-type이 요인1과의 상관관계가 높게 나타나는데, 이는 M-AIJ식은 접합부 상세가 없는

표 4. Rotated Component Matrix

	Component			
	1	2	3	4
ASCE_C	.983	-6.869E-02	-3.980E-03	.168
M_AIJ_C	.950	-.234	.201	-2.874E-03
MKANNO_C	.938	-.119	-4.514E-02	.244
KANNO_C	.910	-6.200E-02	-3.641E-03	.393
AIJ_C	.901	-.241	2.670E-02	-.361
M_AIJ_A	-.822	-.177	.448	-1.053E-02
실험값C	.793	6.129E-03	7.630E-02	.598
실험값D	.148	.959	-.222	-5.542E-02
ASCE_D	-.202	.943	.241	8.371E-02
MKANNO_D	-.336	.931	.128	-6.657E-02
KANNO_D	-.328	.918	.222	-1.032E-02
AIJ_D	4.673E-02	.890	.383	.241
M_AIJ_D	4.567E-02	.865	.402	.295
MKANNO_A	.121	.117	.939	9.105E-02
KANNO_A	8.195E-02	.304	.917	.136
실험값A	-.349	.122	.891	.262
AIJ_A	.152	-.296	-.769	9.618E-02
ASCE_A	6.889E-02	.629	.722	-.188
ASCE_B	.445	-.306	.645	.530
MKANNO_B	.148	.116	.282	.928
실험값B	-9.742E-02	-4.891E-02	-.182	.926
KANNO_B	2.319E-02	6.770E-02	.398	.897
AIJ_B	.446	.289	8.068E-02	.806
M_AIJ_B	.580	-6.379E-03	-.186	.756

A-type에 대한 계산값에 일관성이 없음을 의미한다. 요인2는 D-type과, 요인3은 A-type과, 요인4는 B-type과의 요인점수가 높게 나타난다. ASCE식의 B-type은 요인4와의 점수가 요인3과의 점수보다 적게 계산되므로, ASCE식은 Shear key가 없는 접합부에 대한 계산은 주의할 필요가 있다.

#### 4.4 상관분석

표 5는 요인분석에 따른 상관분석 결과이다. 상관관계행렬 결과로 보았을 때 ASCE식은 B type인 전단키가 없는 경우에 대해 약간의 상관성만을 보이고 있으며, 접합부 보강이 없는 A-type에 대해서는 Kanno의 제안식이 매우 강한 상관성을 보이는 반면 B-type에 대해서는 상대적으로 적은 상관관계를 가졌다. M-Kanno식은 모든 경우에 대해 상당한 상관성을 가지는 것으로 나타났으며, AIJ식 및 M-AIJ식은 상관성이 다소 떨어지는 것을 알 수 있었다.

#### 4.5 신뢰도분석

표 6에서 보는 바와 같이 크론바흐 알파는 0.7806으로 신뢰도가 비교적 높게 나타났다. 즉 전체 강도식들이 일관성 있게 계산을 하고 있음을 알 수 있다. 각 항목과 전체 점수와의 상관계수를 살펴보면 전체 점수보다 큰 값이 없으므로 신뢰도에 좋지 않은 영향을 주는 항목은 없다고 간주할 수 있다. 만약 전체 알파계수보다 큰 값이 나오는 항목이 있으면 그 항목은 신뢰도에 좋지 않은 영향을 주는 문항으로 생각하고 전체점수를 계산할 때 해당항목을 제외하도록 한다.

### 5. 결론

- (1) 기술통계를 통한 분석에서는 Kanno의 식이 가장 적은 오차를 보였다
- (2) T-검정 결과 Kanno 식은 유의확률 0.1%에서 차이가 없음을 알 수 있었다.
- (3) 요인분석을 통해 아이겐값이 1보다 큰 항목을 선정하여 전체 실험체를 4개의 항목으로 분류할 수 있다.
- (4) 요인분석을 통한 항목별로 상관관계를 보면 Kanno 식과 M-Kanno식이 가장 높은 상관계수를 가지며, ASCE식은 Shear Key가 없는 경우에 대한 예측력이 다소 떨어지는 것으로 판단된다. 또한 AIJ 및 M-AIJ 식은 전체적으로 Kanno식에 비해 낮은 상관성을 보였다.
- (5) 크론바흐의 알파를 이용하여 신뢰도 분석을 하였을 때 전체 알파값은 0.7806으로 비교적 높은 신뢰도를 가짐을 알 수 있으며, AIJ 및 M-AIJ식은 알파가 0.67로 신뢰도가 상대적으로 떨어졌다.

### 6. 참고문헌

- (1) Ryoichi Kanno "Strength, Deformation, and Seismic Resistance of Joints between Steel Beams and Reinforced Concrete Columns" Vol. 1, 2 Cornell University.
- (2) 이은진, 문정호, 이리형 "커버플레이트 상세를 지닌 복합구조(RCS)접합부의 역학적 거동에 관한 실험적 연구", 대한건축학회논문집, 제 20권 7호, pp. 37 ~ 44, 2004. 7

표 5 상관분석 결과

	실험값A	실험값B	실험값C	실험값D	
Correlation	ASCE_A	.651	-.277	-.016	.479
	ASCE_B	.519	.311	.726	-.409
	ASCE_C	-.311	.061	.880	.071
	ASCE_D	.424	.029	-.092	.822
	KNNO_A	.866	.000	.201	.107
	KNNO_B	.586	.695	.601	-.083
	KNNO_C	-.223	.315	.947	.063
	KNNO_D	.422	-.061	-.244	.784
	MKNO_A	.838	-.014	.199	-.062
	MKNO_B	.453	.740	.708	.008
	MKNO_C	-.314	.214	.868	.037
	MKNO_D	.328	-.096	-.291	.819
	AIJ_A	-.738	.397	.073	-.056
	AIJ_B	.157	.596	.865	.262
	AIJ_C	-.414	-.409	.498	-.082
	AIJ_D	.496	.095	.218	.760
M_AIJ_A	.668	.093	-.651	-.368	
M_AIJ_B	-.166	.752	.878	.097	
M_AIJ_C	-.183	-.135	.770	-.132	
M_AIJ_D	.525	.143	.251	.729	

표 6 신뢰도 분석 결과

	Scale Mean if Item Deleted	Scale Variance if Item Deleted	Corrected Item-Total Correlation	Alpha if Item Deleted
ASCE	5.8505	.9242	.6160	.7245
Kanno	6.2023	1.1477	.6830	.7507
M-Kanno	6.1413	1.1701	.4898	.7678
AIJ	5.9493	.6217	.7984	.6764
M-AIJ	5.9406	.7054	.7680	.6771

#### Reliability Coefficients

N of Cases = 47.0

N of Items = 6

Alpha = .7806