

---

## 유공 합성보의 강도식에 관한 연구

### Ultimate Strength of Composite Beams with Unreinforced Web Opening



김창호\*

Kim Chang-Ho



박종원\*\*

Park Jong-Won



김희구\*\*\*

Kim Hee-Gu

---

#### ABSTRACT

A practical approach of calculating the ultimate strength of composite beams with unreinforced web opening is proposed through shear behavioral tests. In this method, the slab shear contribution at the opening is calculated as the smaller value of the pullout capacity of shear connector at the high moment end and the one way shear capacity of slab.

A simple interaction equation is used to predict the ultimate strength under simultaneous bending moment and shear force. Strength prediction by the proposed method is compared with previous test results and the predictions by other analytical methods. The comparison shows that the proposed method predicts the ultimate capacity with reasonable accuracy.

Keywords : composite beams with unreinforced web opening, shear behavioral tests, pullout capacity, one way shear capacity

---

\* 정회원, 홍익대학교 대학원 건축학과 박사과정  
\*\* 정회원, 홍익대학교 건축공학과 조교수, 공학박사  
\*\*\* 정회원, 홍익대학교 건축공학과 교수, 공학박사

• 본 논문에 대한 토의를 2001년 2월 28일까지 학회로 보내 주시면 2001년 4월호에 토의회답을 게재하겠습니다.

# 1. 서 론

철골보의 웨브(Web)에 덕트(Duct)나 배관의 관통을 위한 개구부를 설치하는 방법은 건물의 층고를 줄이는 효과가 있어 결과적으로 건물의 전체높이를 줄이게 된다. 하지만 전단력이 큰 부분의 웨브에 개구부를 설치하는 것은 보의 심대한 극한 내력저하를 가져오게 되고 결과적으로 개구부 주변을 보강하여야 하는 상황에 이르게 된다. 그러나 개구부 주위를 보강하는 것은 높은 비용이 소요되어 결과적으로 건축비를 상승시키게 된다.

그런데 합성보의 경우 콘크리트 슬래브는 개구부 위치에서의 전단내력의 많은 부분을 감당할 수 있으므로 슬래브의 전단저항 내력을 적절하게 고려하면 철골보 개구부 주위의 보강을 생략할 수 있게 된다. 개구부를 갖는 유공합성보의 최대내력에 대해서는 여러 가지 강도식이 제안되었다. 그러나 강도식이 복잡하며 근거한 파괴모드(Failure Mode)와 실제의 파괴모드가 일치하지 않는 문제 등이 있다. 또한 시험체의 슬래브 폭이 비교적 좁아 실제 상황을 제대로 반영하지 못한 단점이 있다.

본 연구의 목적은 리브형(Ribbed) 유공 합성보의 웨브 개구부 위치에 있어서 슬래브와 쉬어 코넥터(Shear Connector)의 거동을 실험적으로 분석하여 슬래브의 전단강도를 구하고 이를 근거로 하여 웨브 개구부를 갖는 합성보의 실용적이고 합리적인 극한강도식을 제안하는 데 그 목적이 있다.

## 2. 기존의 강도식

### 2.1 Redwood의 강도식<sup>(1,2)</sup>

Redwood는 전단력과 모멘트를 동시에 받는 유공 합성보의 최대내력을 구하기 위해 Fig. 1과 같은 형태의 상관관계도를 채택하였다. 이 상관관계도는 O점과 1점 사이가 타원형이고 1점과 1'점 사이가 직선으로 연결되어 있다.

O점은 순수 휨(Bending Moment)만이 작용할 때의 최대 휨 내력을 나타낸 것으로 Moh값은 완전합성의 가정하에 응력 분포로부터 구해진다.

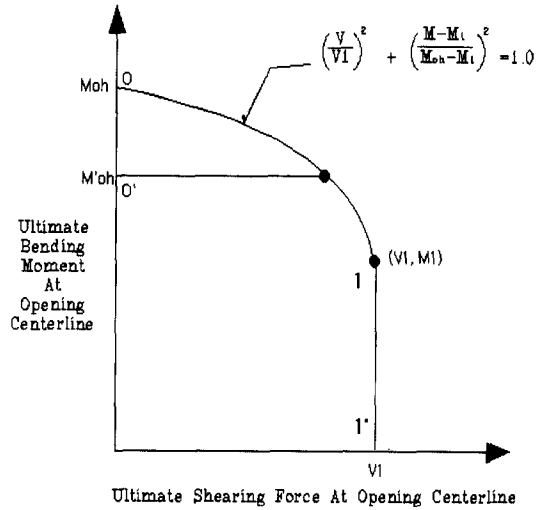


Fig. 1 Moment-to-shear interaction diagram by Redwood

O'점의 모멘트 Moh'는 부분합성의 효과를 고려한 최대 휨 내력값이다. 1점은 파괴모드(Failure Mode)가 휨에서 전단으로 바뀌는 것을 나타내는 점이며 1'점은 1점에서 수직선을 내렸을 때 수평축과 만나는 점으로 모멘트가 작용하지 않는 순수전단 하에서의 최대 전단내력을 나타내는 점이다.

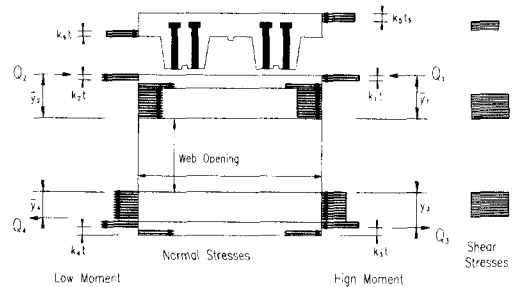


Fig. 2 Assumed stress distributions by Redwood

또한 Fig. 2는 강도식이 근거하는 극한상태의 응력 분포를 나타낸 것이며 계수 k1-k6은 0과 1사이의 값으로서 플랜지(Flange)나 웨브(Web) 혹은 슬래브의 압축 또는 인장 응력 부분의 비율을 나타내는 수치이다. 이 모델에서는 콘크리트 슬래브가 받을 수 있는 순수전단내력을 정확히 규정할 수 없다는 이유로 콘크리트의 전단내력을 무시한다. 따라서 이 모델은 지나치게 안전측의

결과를 줄 수 있다. 이 외에도 Fig. 1에서 1점을 경계로 두 가지 서로 다른 강도식이 사용됨으로서 부재의 내력을 검토하기 위해서는 각각의 경우에 대한 상관관계곡선을 그려야 하는 번거로움이 있다.

## 2.2 Darwin의 강도식<sup>(3,4)</sup>

Darwin은 순수 휨만이 작용할 때의 최대 휨내력과 순수 전단만이 작용할 때의 최대 전단 내력을 구한 후 이 두 값을 사용하여 휨 모멘트와 전단력이 동시에 작용하는 유공 합성보의 내력을 구하는 상관관계식을 제안하였다.

순수 전단만이 작용할 때의 최대 전단 내력은 Fig. 3과 같은 극한상태의 응력분포로부터 구한다. 즉 전단면을 콘크리트 슬래브와 개구부 상부의 T형 단면의 합성단면과 하부 T형 단면으로 나눈 후 각각의 단면에 대해 비렌디일(Vierendeel) 거동을 고려하여 극한 응력분포를 일으키는 전단력을 구함으로써 최대 전단 내력을 구할 수 있다.

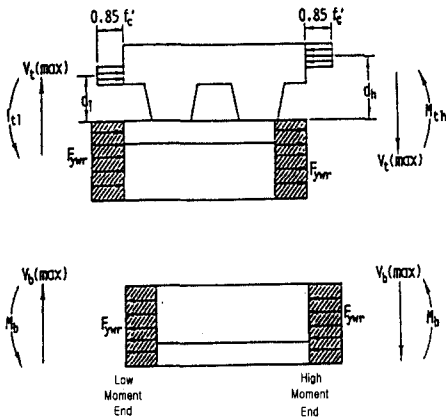


Fig. 3 Stresses at maximum shear for solutions II and III by Darwin

순수 휨모멘트가 작용할 때의 내력은 개구부가 없는 전단면의 소성응력분포에서 개구부의 부분을 뺀으로서 구하며 전단력과 모멘트를 동시에 받는 유공 합성보의 최대내력을 구하기 위해 3차식의 상관관계곡선을 사용하였다.

Darwin의 강도식은 Redwood의 경우와 달리 부재의 내력을 직접 검토할 수 있는 장점이 있

나 최대 전단내력을 계산하는 데에 있어 쉬어코 벡터의 역학적 거동을 고려할 수 없으며 강도식이 근거로 하는 극한 상태의 역학구조(Mechanism)가 실제의 파괴모드와 다르다는 점에서 실제의 거동을 충분히 나타내지 못하는 단점을 가지고 있다.

## 2.3 Cho의 강도식<sup>(5,6)</sup>

Cho는 전단력과 모멘트를 동시에 받는 유공 합성보의 최대 내력을 구하기 위해 Redwood가 제시한 Fig. 1과 같은 형태의 상관 관계도를 채택하였다. Fig. 1의 1점을 결정하는데 있어 Cho는 Fig. 4와 같은 트러스 모델을 사용하여 V1과 M1값을 구하였다.

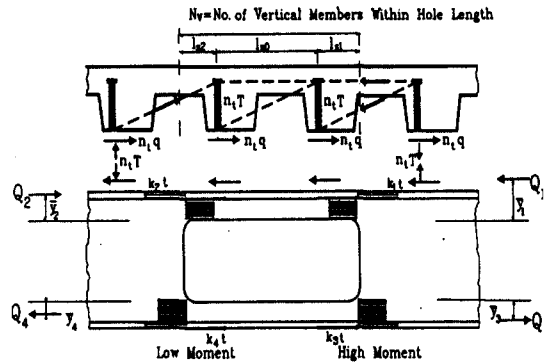


Fig. 4 Truss analytic model by Cho

Cho는 극한 상태에 도달했을 때의 콘크리트 슬래브와 스타드(Stud)에 작용하는 힘을 콘크리트의 단면은 사방향 및 수평방향 압축응력을 부담하고 스타드는 수직 인장응력에 저항하는 스트러트-타이 모델(Strut-Tie Model)을 이용하여 나타내었다.

트러스 모델에서는 먼저 수평력  $nt \cdot q$ 를 가정한다. 다음 트러스 작용에 의한 콘크리트의 수직력  $nt \cdot T$ 를 구한다. 그런 다음 위의 두 방향 힘이 동시에 작용할 때의 쉬어코벡터의 내력을 검증하게 된다. 이 때 최종적인 수직내력은 콘크리트 단면의 전단내력이 되게 되고 이 값에 개구부 상하부의 철골 T단면의 전단내력을 더하여 최종적인 전단내력 V1이 되게 된다.

또한 트러스 모델의 기하학적인 형태에 따른

응력 해석모델과 쉬어코넥터의 배치에 따라 M1이 구해지게 된다. 트러스 해석은 웨브 개구부 부분의 슬래브와 쉬어코넥터의 구조적 작용을 고려할 수 있는 매우 유효한 방법이다.

그러나 트러스 모델은 스트러트-타이 모델을 적용하는데 있어 쉬어코넥터 위치에서의 응력장 (Stress Field)를 고려하는데 큰 어려움이 있다. 또한 중실형(Solid)슬래브에는 스트러트-타이 모델이 비교적 합리적이거나 리브형(Ribbed)슬래브에는 스트러트의 방향이 리브의 형태를 고려할 때 불합리한 측면이 있다.

### 3. 제안 식

#### 3.1 실험을 통한 거동분석

보의 중앙부에 집중하중을 받는 리브형(Ribbed) 콘크리트합성보 시험체 10개 및 중실형(Solid) 콘크리트합성보 시험체 1개, 순수철골보 시험체 1개 총 12개의 시험체 [스팬1.84m, 철골부재 H-450×200×9×14, 개구부치수 400(폭)×230(높이)]에 대한 전단내력실험을 실시하였다.

이 실험을 통한 유공합성보 개구부 주위에 대한 역학적인 거동을 고찰하여 보면 하중의 증가에 따라 개구부 주변에 비렌디일 (Vierendeel) 작용에 의해 High Moment 단부에서 쉬어코넥터에 인장력이 발생되게 된다. 또한 슬래브 폭이 상대적으로 작을 때에는 콘크리트 단면에 작용한 전단력에 의하여 Fig. 5과 같이 사인장 (Diagonal Tension) 파괴가 발생하게 된다.

슬래브의 폭이 커짐에 따라 개구부 High Moment 단부에 인접한 리브(Rib)가 Fig. 6과 같이 풀아웃(Pullout) 파괴로 파괴양상이

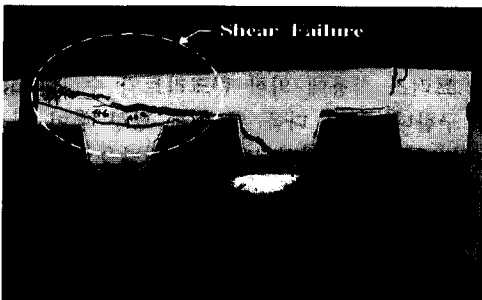


Fig. 5 Shear failure (diagonal tension failure) mode

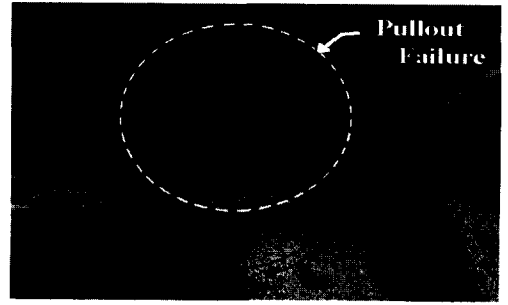


Fig. 6 Pullout failure mode

바뀌게 된다. 슬래브 유효폭이 일정이상 값을 유지하면 슬래브의 전단강도는 슬래브 폭의 크기에 상관없이 풀아웃(Pullout)내력에 의해 결정된다.

#### 3.2 해석 모델의 제시

본 연구에서는 실험분석을 통한 슬래브의 실제적 거동을 고려함과 동시에 단순한 상호관계곡선을 토대로 비교적 쉽게 내력을 구할 수 있는 방법을 제안한다. 이를 위해 Darwin의 경우와 같이 최대 전단내력과 최대모멘트 내력을 따로 구한 후 전단력과 모멘트가 동시에 작용할 경우에 대한 상호관계식을 제안한다. 최대모멘트 내력은 기존의 방식들<sup>(7)</sup>과 동일하게 구한다. 그러나 최대 전단내력을 구하는 데 있어 본 연구에서는 Fig. 7과 같이 콘크리트 부재와 철골부재의 전단내력을 분리하여 따로 산정한 후 합하여 합성단면의 전단내력을 구하는 방식을 제안한다.

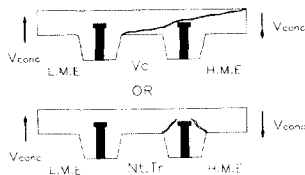
#### 3.3 최대 전단내력

##### 3.3.1 콘크리트 단면의 전단내력

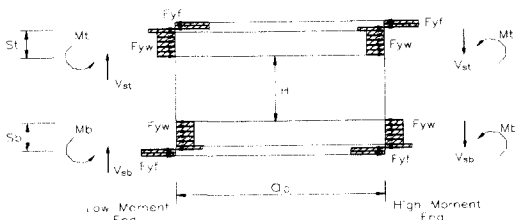
전단 거동에 관한 실험분석을 토대로 콘크리트 단면이 기여하는 전단내력은 다음과 같이 개구부 High Moment 단부에 인접한 쉬어 코넥터의 풀아웃(Pullout)내력과 슬래브의 1면 전단강도 중 작은 값으로 한다.

$$T_{\max} = 1.1\sqrt{f_{ck}} A_c \quad (1)$$

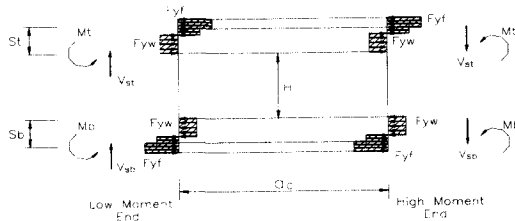
$$V_c = 0.53\sqrt{f_{ck}} \times B \times t_s \quad (2)$$



(a) Slab



① P.N.A.'s in the flange



② P.N.A is in the web

(b) H Shaped Steel Beam

Fig. 7 Stresses at maximum shear

$$V_{conc} = \min [ T_{max}, V_c ] \quad (3)$$

- 여기서  $T_{max}$  : STUD의 최대 Pullout Capacity(tf)  
 $A_c$  : Pullout 표면적( $cm^2$ )  
 $V_c$  : 콘크리트 슬래브단면의 1면 전단강도(tf)  
 $f_{ck}$  : 콘크리트 압축강도 ( $kgf/cm^2$ )  
 $V_{conc}$  : 콘크리트에 의하여 저항되는 전단력(tf)  
 $B$  : 콘크리트 슬래브 폭 (cm)  
 $t_s$  : 콘크리트 슬래브 얇은판 두께(cm)

### 3.3.2 철골단면의 전단내력

철골단면의 전단내력은 기존의 연구<sup>(8,9)</sup>를 인용하여 다음과 같은 값으로 한다.

#### (1) T형 단면의 소성 모멘트

소성 응력으로부터 T형 단면의 소성 모멘트를 구할 때 중립축의 위치를 조사하여 아래와 같이 각 중립축에 해당하는 소성 모멘트를 산출하게 된다.

① 소성 중립축(P.N.A)이 플랜지에 있는 경우

$$( b t_f F_{yf} \geq S t_w F_{yw} )$$

$$\sum F = 0 \quad b t_f k F_{yf} - b(1-k) t_f F_{yf} - S t_w F_{yw} = 0 \quad (4)$$

따라서,  $k = \frac{A_f F_{yf} + A_w F_{yw}}{2A_f F_{yf}} \quad (5)$

$$M_{pn} = \frac{A_f F_{yf}}{2} t_f (k^2 + (1-k)^2) + A_w \left( \frac{S}{2} + (1-k) t_f \right) F_{yw} \quad (6)$$

② 소성 중립축(P.N.A)이 웨브에 있는 경우

$$( b t_f F_{yf} < S t_w F_{yw} )$$

$$\sum F = 0 \quad A_f F_{yf} + k S t_w - (1-k) S t_w F_{yw} = 0$$

따라서,  $k = \frac{A_f F_{yf} + A_w F_{yw}}{2S t_w F_{yw}} \quad (7)$

$$M_{pn} = A_f F_{yf} \left( k S + \frac{t_f}{2} \right) + \frac{1}{2} (k^2 + (1-k)^2) S A_w F_{yw} \quad (8)$$

(2) 소성 모멘트에 의한 최대 철골단면의 전단력 식(6), 식(8)으로부터 구한  $M_{pn}$ 을 개구부의 길이  $a_o$ 의 반인  $a$ 로 나누어주면 비렌디일(Vierendeel)작용에 의한 최대 전단내력  $V_{pn}$ 을 구할 수 있다.

$$V_{pn} = \frac{M_{pn}}{a} \quad (9)$$

#### (3) 웨브의 전단항복

T형 단면의 웨브의 항복 전단력은 다음과 같이 구해진다.

$$V_{pn} = \frac{S t_w F_{yw}}{\sqrt{3}} \quad (10)$$

#### (4) 철골단면의 전단내력

식(9)와 식(10)의 값 중 작은 값을 택하여 2배한 값이 개구부의 최대 전단내력이 되고 이는 다음과 같은 식으로 나타낼 수 있다.

$$V_{steel} = V_{pn} = \left( \frac{M_{pn}}{a} \text{ 와 } \frac{S t_w F_{yw}}{\sqrt{3}} \text{ 중 작은 값} \right) \times 2 \quad (11)$$

- 여기서  $M_{pn}$  : T형 단면의 소성모멘트 (tf·cm)  
 $A_f$  : 한쪽 플랜지의 단면적( $cm^2$ )  
 $A_w$  : 웨브의 전단면적( $cm^2$ )  
 $S_t$  : 개구부 상부 T형 단면의 축(cm)  
 $S_b$  : 개구부 하부 T형 단면의 축(cm)  
 $V_{steel}$  : 철골보에 의하여 저항되는 전단력(tf)  
 $V_{pm}$  : 유공보 이론해석에 의한 최대전단내력(tf)  
 $f_{yf}$  : 철골부재의 항복응력(tf/ $cm^2$ )  
 $f_y$  : 플랜지의 항복응력(tf/ $cm^2$ )  
 $f_{yw}$  : 웨브의 항복응력 (tf/ $cm^2$ )  
 $t_w$  : 웨브의 두께(cm)  
 $t_f$  : 플랜지의 두께(cm)  
 $S$  :  $S_t$  또는  $S_b$   
 $b$  : 철골보의 폭(cm)

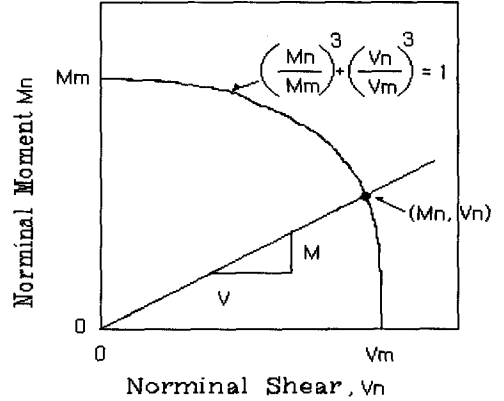


Fig. 8 Moment-shear interaction diagram

3.3.3 최대 전단내력  
 전단면의 최대 전단내력은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\text{전단내력합계} \quad V_{capacity} = V_{steel} + V_{conc} \quad (12)$$

여기서  $V_{capacity}$  : 철골보와 콘크리트에 의해 저항되는 전단력 (tf)

### 3.4 모멘트 전단력 상관관계식

상관관계식은 다음과 같은 3차식을 적용하였을 때 기존의 실험결과들과 가장 잘 일치하는 것으로 나타났다.

$$\left(\frac{M_n}{M_m}\right)^3 + \left(\frac{V_n}{V_m}\right)^3 = 1.0 \quad (13)$$

- 여기서  $M_m$  : 단면의 최대 모멘트(tf·cm)  
 $V_m$  : 단면의 최대 전단력(tf)  
 $M_n$  : 단면의 공칭 모멘트(tf·cm)  
 $V_n$  : 단면의 공칭 전단력(tf)

Fig. 8은 식(13)의 상관관계곡선을 그림으로 나타낸 것이다.

## 4. 기존 실험결과와의 비교

Table 1에 리브형 시험체 24개 [Redwood (1982)

의 시험체, Donahey & Darwin(1987)의 시험체, Cho(1990)의 시험체] 및 중실형(Solid) 시험체 8개 [Clawson & Darwin(1980-1982)의 시험체, Cho(1990)의 시험체] 총32개 시험체를 이용하여 제안식을 비롯한 기존의 이론식을 비교 분석하였다. 비교 연구식은 Cho의 'Truss Model식' Redwood의 '전단 모델식', Darwin의 '상관관계식'이다. Table 1의 (2),(3),(4) 항은 Cho의 논문(1990)<sup>(10)</sup>에서 인용하였다. Table 1에서 제안식 중<sup>(5)</sup>  $V_{max}$ 는 모멘트가 없는 경우의 단면의 최대 전단 내력을 나타내고<sup>(6)</sup>  $V_{THEO}$ 는 모멘트가 작용할 경우 Fig. 8의 상관관계도 (Interaction Diagram)에 의한 단면의 전단내력을 나타낸다. 비교 시험체중 쉬어코넥터가 철근에 용접되어 있는 경우는 비교에서 제외 시켰다. 또한 Fig. 9, Fig. 10에 이론식과 실험결과를 비교분석 하였다. 기존 실험 결과와 본 연구의 이론식을 비교 분석한 결과 기존의 연구인 Cho의 Truss Model식, Redwood의 전단모델식, Darwin의 상관관계식과 커다란 차이가 없음을 확인할 수 있다.

기존의 실험연구에서 거의 대부분의 시험체가 폭이 매우 좁게 설계되어 있어 제안식을 적용한 결과 대부분의 시험체가 슬래브 단면의 1면 전단강도에 의해 콘크리트 단면의 전단내력이 결정되었다. 따라서 슬래브의 폭이 비교적 클 경우 본 제안식이 슬래브 폭에 따른 파괴모드의 변화를 고려할 수 있어 보다 합리적인 결과를 줄 수 있을 것으로 판단된다.

Table 1 Comparison of test results and theoretical values

<Ribbed slab>

(5) = (1)+(2)+min{(3),(4)}

INV.	HOLE NO.	Moh (tf.m)	TEST		PROPOSED						V <sub>TEST</sub> / V <sub>THEO</sub>			
			M (tf.m)	V (tf)	(1) V <sub>1</sub> (tf)	(2) V <sub>2</sub> (tf)	(3) T <sub>MAX</sub> (tf)	(4) V <sub>3</sub> (tf)	(5) V <sub>MAX</sub> (tf)	(6) V <sub>THEO</sub> (tf)	PRO-POSED	REDWOOD	DARWIN	CHO
Red-wood 1982	R <sub>0</sub>	17.2	8.3	8.3	2.2	2.2	7.5	5.7	10.10	9.47	0.876	0.83	0.955	1.061
	R <sub>1</sub>	38.4	11.1	11.8	3.74	3.74	7.3	5.2	12.68	12.16	0.970	1.128	1.163	1.227
	R <sub>2</sub>	41.0	32.6	13.0	4.08	4.08	9.4	5.8	13.96	11.07	1.174	1.14	1.384	1.247
	R <sub>3</sub>	43.3	44.8	7.4	4.05	4.05	11.6	7.2	15.30	7.72	0.959	1.086	1.084	1.129
	R <sub>4</sub>	44.3	35.8	6.0	4.14	4.14	8.1	6.9	15.18	8.12	0.739	1.061	1.118	1.061
	R <sub>5</sub>	40.2	11.8	12.5	1.95	6.86	7.3	5.2	14.01	12.59	0.993	1.059	1.081	1.235
	R <sub>6</sub>	37.4	9.1	9.6	4.03	4.03	9.1	4.9	12.96	12.6	0.762	1.116	1.191	1.27
	R <sub>7</sub>	37.4	13.1	13.8	4.03	4.03	7.0	4.9	12.96	12.5	1.104	1.017	1.191	1.172
	R <sub>8</sub>	36.6	12.4	13.1	3.82	3.82	8.8	4.6	12.24	11.8	1.110	1.063	1.098	1.215
					Mean							0.965	1.06	1.12
				Sta. Dev.							0.152	0.088	0.112	0.075
Dona-hy & Darwin 1987	D <sub>1</sub>	67.2	18.5	17.2	6.11	6.11	11.2	5.83	18.05	18.0	0.956	0.946	0.967	1.068
	D <sub>2</sub>	67.3	35.7	17.7	5.97	5.97	10.8	6.1	18.04	18.0	0.983	1.125	1.080	1.151
	D <sub>3</sub>	68.9	70.0	5.1	5.96	5.96	11.4	6.4	18.32	5.4	0.944	1.073	1.028	1.073
	D <sub>3A</sub>	67.2	31.9	15.7	5.93	5.93	4.7	6.0	16.56	16.2	0.969	1.03	1.009	1.214
	D <sub>3B</sub>	65.9	29.62	14.6	6.68	3.79	11.1	6.0	18.47	15.2	0.961	0.846	1.074	0.917
	D <sub>3A</sub>	65.1	0.0	18.6	5.96	5.96	9.8	5.6	17.52	16.7	1.14	1.074	1.104	1.210
	D <sub>3A</sub>	16.0	8.9	8.8	2.03	2.03	11.3	5.2	9.26	9.1	0.967	0.838	0.99	0.97
	D <sub>3B</sub>	15.5	4.9	6.5	1.24	0.98	12.8	5.8	8.02	7.7	0.844	0.945	0.928	0.797
	D <sub>3A</sub>	54.9	17.0	15.7	2.66	2.66	12.6	11.3	16.62	16.4	0.957	1.03	0.973	1.272
	D <sub>3B</sub>	54.8	20.5	21.5	4.79	4.18	12.1	11.6	20.57	20.1	1.07	0.851	1.018	1.399
				Mean							0.977	0.99	1.01	1.11
				Sta. Dev.							0.073	0.091	0.053	0.170
cho 1990	CHO <sub>1</sub>	38.9	0	9.7	3.16	3.16	11.5	4.2	10.52	10.5	0.924	1.556	0.926	1.364
	CHO <sub>2</sub>	38.0	0	7.4	3.1	3.1	7.7	4.3	10.50	10.5	0.705	0.780	0.710	1.039
	CHO <sub>3</sub>	32.1	0	7.2	3.09	3.09	7.8	2.2	8.38	8.38	0.859	0.818	0.818	1.007
	CHO <sub>4</sub>	41.2	8.9	9.4	3.07	3.07	7.4	5.5	11.64	11.1	0.847	0.952	0.940	1.267
	CHO <sub>7</sub>	41.3	11.3	10.7	3.11	3.11	5.6	5.5	11.72	11.3	0.947	1.082	1.060	1.177
					Mean							0.856	1.04	0.89
				Sta. Dev.							0.094	0.280	0.13	0.135
TOTAL				Mean							0.947	1.02	1.04	1.15
				Sta. Dev.							0.118	0.154	0.13	0.138

<Solid slab>

(5) = (1)+(2)+min{(3),(4)}

INV.	HOLE NO.	Moh (tf.m)	TEST		PROPOSED						V <sub>TEST</sub> / V <sub>THEO</sub>			
			M (tf.m)	V (tf)	(1) V <sub>1</sub> (tf)	(2) V <sub>2</sub> (tf)	(3) T <sub>MAX</sub> (tf)	(4) V <sub>3</sub> (tf)	(5) V <sub>MAX</sub> (tf)	(6) V <sub>THEO</sub> (tf)	PRO-POSED	RED-WOOD	DARWIN	CHO
Clawson & Darwin 1980-1982	C <sub>1</sub>	32.6	33.3	15.2	3.52	3.52	12.0	14.7	19.04	14.24	1.067	1.143	1.192	1.424
	C <sub>2</sub>	50.0	47.3	16.7	4.49	4.49	9.6	11.0	18.58	15.3	1.092	1.207	1.128	1.358
	C <sub>3</sub>	50.7	62.9	6.4	4.49	4.49	10.4	12.3	19.38	5.8	1.103	1.268	1.139	1.289
	C <sub>4</sub>	56.2	19.8	21.6	5.16	5.16	10.0	11.7	20.32	19.15	1.128	1.064	1.056	1.281
	C <sub>5</sub>	55.5	40.6	21.8	5.31	5.31	9.4	12.0	20.02	18.05	1.208	1.147	1.134	1.385
	C <sub>6</sub>	36.6	16.8	18.3	4.36	4.36	9.1	11.1	17.82	17.33	1.056	0.834	1.128	1.233
				Mean							1.109	1.11	1.13	1.33
				Sta. Dev.							0.054	0.139	0.040	0.066
cho 1990	CHO <sub>6</sub>	31.7	8.1	8.5	3.08	3.08	4.7	4.4	10.56	9.9	0.859	0.866	0.845	1.306
	CHO <sub>7</sub>	31.7	8.1	9.8	3.05	3.05	4.7	4.4	10.50	9.9	0.990	0.948	0.968	1.311
				Mean							0.925	0.91	0.91	1.31
				Sta. Dev.							0.093	0.041	0.062	0.003
TOTAL				Mean							1.063	1.06	1.07	1.32
				Sta. Dev.							0.093	0.041	0.062	0.003
RIBBED + SOLID TOTAL				Mean							0.976	1.03	1.06	1.19
				Sta. Dev.							0.124	0.154	0.162	0.145

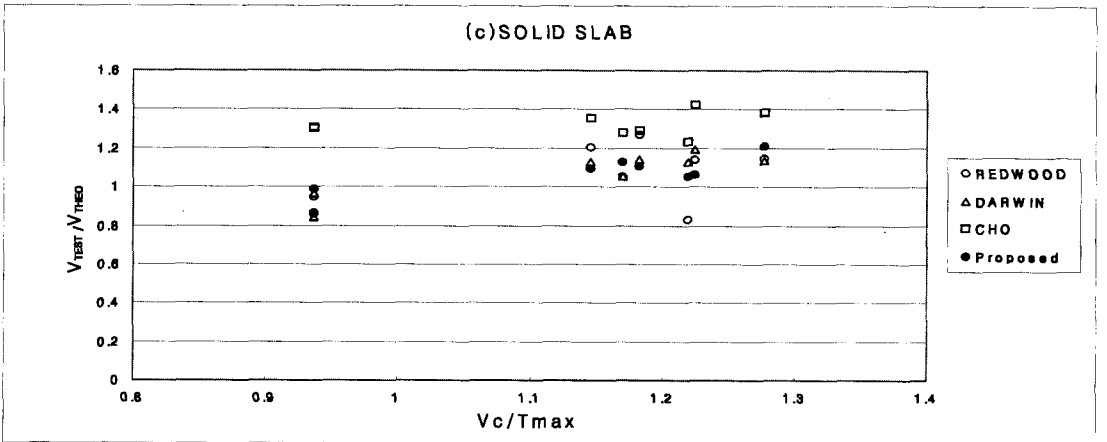
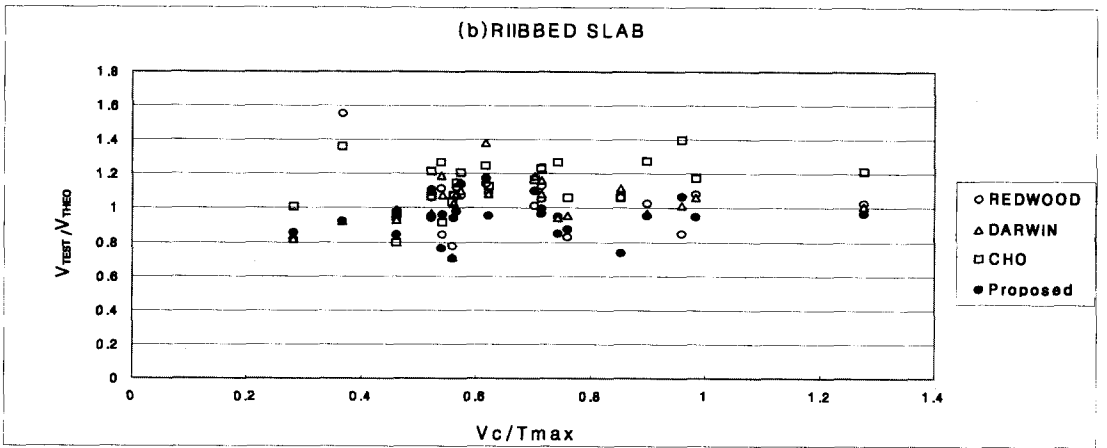
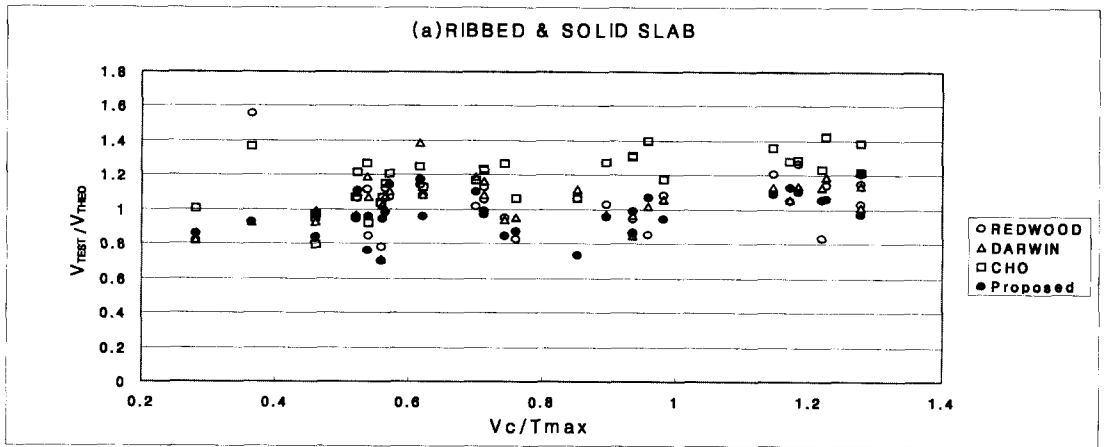


Fig. 9 Comparison of test results and theoretical values



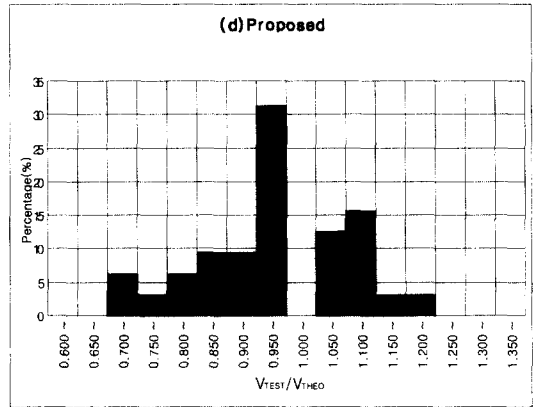
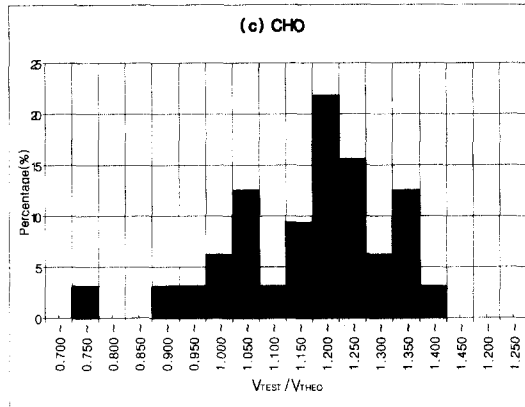
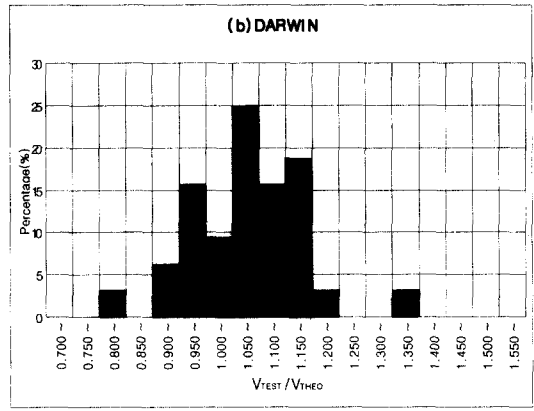
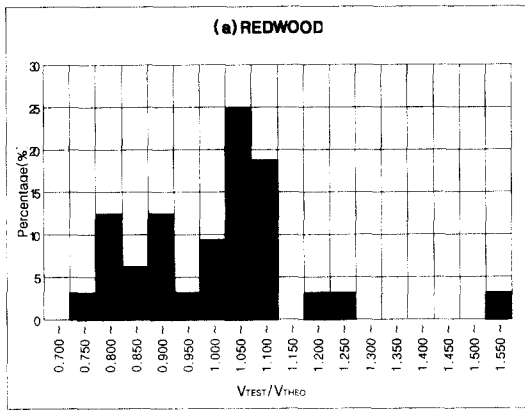


Fig. 10 Comparison of test results and theoretical values

## 5. 결론

본 연구에서는 보강하지 않은 유공 합성보의 기존 이론식에 대한 연구분석을 하였으며 전단거동에 관한 실험을 근거로 하여 실용적인 최대 내력식을 제안하였다. 기존의 이론식에 대한 연구 결과 전단내력 산정시 Redwood 및 Darwin의 강도식은 쉬어코넥터의 역할을 고려하지 못하고 있으며 Cho의 강도식은 절점의 모델링에 대한 보다 정확한 연구가 필요한 것으로 분석되었다. 최대 내력식을 산정하기 위하여 개구부에 순수 모멘트와 순수 전단력만이 작용하는 경우의 각각의 내력을 구한 후 임의의 상관관계 곡선을 활용하여 전단력과 휨모멘트가 동시에 작용하는 경우의 극한내력을 제시하였다. 전단내력을 구하는데 있어서는 콘크리트와 철골부재의 전단내력을 분

리하여 따로 산정한 후 합하여 합성단면의 전단내력을 구하는 방식을 사용하며 콘크리트의 전단내력은 실험분석을 토대로 슬래브의 전단강도와 쉬어코넥터의 풀아웃(pullout)내력 중 작은 값으로 하였다.

제안식에 의한 최대 내력값을 기존의 32개의 시험체에 대한 실험결과와 비교하였다. 그 결과 본 연구의 제안식은 최대 내력을 비교적 잘 나타내고 있음을 확인할 수 있었다.

## 참고문헌

1. R.G. Redwood, & Poubouras (1983) 「Tests of Composite Beams with Web holes」: Canadian Journal of civil Engineering Vol.10, No.4 pp.713~721.
2. R.G. Redwood & Poubouras (1984) 「

- Analysis of Composite Beams with Web Openings」: Journal of the Structural Division, ASCE, Sep. 1984 pp.1949~1958.
3. D. Darwin, & C. Donahey 「LRFD for Composite Beams with Unreinforced Web Openings」: Journal of the Structural Division, ASCE, March 1988 pp.535~552.
  4. D. Darwin, & C. Donahey 「Web Openings in Composite Beams with Ribbed Slabs」: Journal of the Structural Division, ASCE, Vol. 114, No. 3, March 1988, pp.518~533.
  5. Cho, S.H. & R.G. Redwood 「Slab Behaviour In Composite Beams At Web Openings :Analysis」: Journal of the Structural Division, ASCE Sep.1992, pp.2287~2303.
  6. Cho, S.H. & R.G. Redwood (1992) 「Slab Behaviour In Composite Beams At Web Openings II: Test and Verification」: Journal of the Structural Division, ASCE, Sep. 1992 (pp. 2304~2322).
  7. R.G. Slutter & G.C. Driscoll Jr. (1965) 「Flexural Strength of Steel-Composite beams」 J. Struct. Div., ASCE 91(2) (pp.71~99).
  8. 정재길 "유공 H형강보의 강도식에 관한 연구," 1999, 홍익대학교 석사학위논문.
  9. 정재길, 박종원, 신영수, 조상민, "유공 H형강보에 대한 강도식의 제안," 1998 대한건축학회 추계학술발표대회 논문집 18권 2호
  10. Cho, S.H (1990) 「SLAB BEHAVIOUR IN COMPOSITE BEAMS AT WEB OPENING S」: A thesis submitted to the Faculty of Graduate Studies and Research in partial fulfillment of the requirements for the degree of Doctor of Philosophy.

## 요 약

전단력이 큰 철골보의 웨브에 덕트나 배관의 관통을 위한 개구부를 설치하는 것은 보의 심대한 극한 내력저하를 가져오게 되고, 결과적으로 개구부 주변을 보강하여야 하는 상황에 이르게 된다. 그러나 합성작용에 의한 슬래브의 전단저항 내력이 적절하게 고려될 때 철골보 개구부 주위의 보강을 생략할 수 있게 된다. 본 연구에서는 보강하지 않은 유공 합성보의 기존 이론식에 대한 연구분석을 하였으며 전단거동에 관한 실험을 통하여 실용적인 최대 내력식을 제안하였다. 최대 내력식을 산정하기 위하여 개구부에 순수 모멘트와 순수 전단력만이 작용하는 경우의 각각의 내력을 구한 후 임의의 상관관계 곡선을 활용하여 전단력과 휨모멘트가 동시에 작용하는 경우의 극한내력을 제시하였다. 전단 내력을 구하는데 있어서는 콘크리트와 철골부재의 전단내력을 분리하여 따로 산정한 후 합하여 합성 단면의 전단내력을 구하는 방식을 사용하며 콘크리트의 전단 내력은 실험분석을 토대로 슬래브의 1면 전단강도와 쉬어코넥터의 풀아웃(pullout)내력 중 작은 값으로 하였다.

제안식에 의한 최대 내력값을 기존의 32개의 시험체의 실험결과와 비교하였다. 그 결과 본 연구의 제안식은 최대 내력을 비교적 잘 나타내고 있음을 확인할 수 있었다

(접수일자 : 2000. 7. 3.)