

# 기존 실험데이터를 통한 철근콘크리트 이형벽체의 휨내력식 평가

## Evaluation of Flexural Capacity of Reinforced Concrete Irregular Walls Based on Existing Experimental Data

문 경 신\*      하 상 수\*\*      최 창 식\*\*\*      이 원 호\*\*\*\*      이 리 형\*\*\*\*\*  
Moon, Kyung Shin    Ha, Sang Soo    Choi, Chang Sik    Yi, Waon Ho    Lee, Li Hyung

### ABSTRACT

The primary objective of this study is to develop the new equation that can predict the flexural strength of irregular walls by applying the concept of the effective width which is used in current codes.

Results obtained from this data analysis are as follows :

1. It is conservative to use PCI provision and ACI code as the effective width for evaluating the flexural capacity of irregular walls
2. The result of this study shows that the Paulay & Priestley's proposition is available for more exactly and safely predicting flexural capacity of irregular walls throughout a reduction factor.

### 1. 서론

현재 평면구조상 벽식구조 아파트 및 오피스빌딩의 경우 대부분의 벽체들은 단일 벽체라기 보다는 그림 1과 같이 H형, T형, L형 등 다양한 형태로 계획되는 비정형 벽체(이하 이형벽체라 함)임에도 불구하고, 구조해석시 이러한 이형벽체의 단면특성을 고려하여 해석을 실시하고 있지 못하고 있으며, 현행 설계에서도 계산상의 복잡함 때문에 플랜지형 단면의 특성을 고려하지 않고 장방형 벽체(일자형 벽체)로 치환하여 해석한 결과를 근거로 부재를 설계하고 있는 실정이다.

따라서, 본 연구에서는 국내의 이형벽체의 실험데이터 분석을 통해서 휨강도에 대한 기존의 규준식 및 제안식에 각 규준에서 제시하고 있는 유효폭의 개념을 도입해서 벽체의 휨강도식을 재평가함으로써 보다 정확하고 합리적인 부재설계 및 내력평가가 가능하도록 하는 기초자료를 제공하고자 한다.

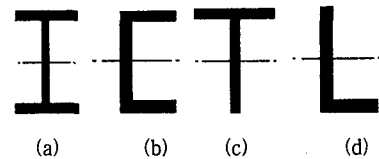


그림 1 이형벽체형상

\* 정회원, 광운대학교 대학원 석사과정  
\*\* 정회원, 한양대학교 건축공학과 박사과정  
\*\*\*\*\* 정회원, 한양대학교 건축공학과 교수, 공학박사

\*\*\* 정회원, 대진대학교 건축공학과 교수, 공학박사  
\*\*\*\* 정회원, 광운대학교 건축공학부 교수, 공학박사

## 2. 유효폭에 대한 기준

일반적으로 플랜지에 압축력이 가해질 때, 벽체는 큰 연성을 나타내게 되지만, T형이나 L형의 단면에 대해서 플랜지가 인장력을 받을 경우 제한된 연성능력을 보이게 된다. 또한 지진과 같은 횡력 발생 시 플랜지의 인장철근의 초과강도(overstrength)는 비탄성적인 변형을 허용하는데, 이 점은 휨내력 계산시 벽체 플랜지부분의 인장철근의 공허도를 고찰해 볼 수 있는 근거가 된다.

표 1에 나타낸 이형벽체의 유효폭에 대한 기준을 보면 알 수 있듯이, 플랜지의 유효폭을 결정하는 주요변수는 웨브길이, 벽체높이, 플랜지길이, 플랜지두께 등이며, 본 연구에서는 내력식을 평가하는데 있어서 각 기준이 공통적으로 포함하고 있는 변수인 벽체높이를 기준으로 하였다.

표 1 유효폭에 대한 각 기준

기준	제안된 유효폭	변수	
PCI	① $B_l/2$	웨브길이 벽체높이 플랜지길이 플랜지두께	
	② $h_w/10$		
	③ $L_l/3$		
	④ $6t$		
ACI 318-99	① $h_w/4$	벽체높이 웨브길이	
	② $L_l/2$		
Paulay & Priestley	인장축	$h_w + b_w$	벽체높이 웨브두께
	압축축	$0.3 \cdot h_w + b_w$	

## 3. 휨강도 기준식 및 분석

### 3.1 휨강도 기준식

기존 실험체의 내력계산은 AIJ에서 제안하고있는 (식 1-1) 및 (식 1-2)와 ACI 318-99에서 제안하고 있는 식(2)를 사용하였다. ACI 제안식의 경우, T형 벽체의 경우에도 각 방향에 대해 단일 벽체로 치환하여 설계하도록 제안되고 있으므로 인장축 철근량에 플랜지 유효폭 내의 철근들을 고려하여 계산하였다. 그러나 플랜지가 압축을 받는 부가력시에 플랜지의 면적을 무시하여 압축축 면적에 포함하지 않았다. 또한 AIJ식의 경우는 양단부 기둥이 있는 경우의 단일벽체에 대한 제안식이므로 ACI 제안식인 식(2)와 마찬가지로 방법을 적용하였다.

본 연구에서는 AIJ에서 제안하는 약산식인 (식 1-1)과 ACI 318-99의 제안식을 사용하여 실험결과와 비교·분석하였다.

대상 실험체는 표 2에 나타낸 것과 같이 20개의 T형 실험체와 7개의 L형 실험체이다.

#### 3.1.1 벽체의 휨강도

##### ① AIJ 기준

$$M_u = a_t \cdot \sigma_y \cdot l_w + 0.5 a_w \cdot \sigma_{wy} \cdot l_w + 0.5 N \cdot l_w \quad (\text{tf} \cdot \text{m}) \dots\dots\dots(\text{식 1-1})$$

$$M_u = 0.9 a_t \cdot \sigma_y \cdot D + 0.4 a_w \cdot \sigma_{wy} \cdot D + 0.5 N \cdot D \cdot \left(1 - \frac{N}{B \cdot D \cdot f_{ck}}\right) \quad (\text{tf} \cdot \text{m}) \dots\dots(\text{식 1-2})$$

- $a_t$  = 인장축 주근의 단면적
- $\sigma_y$  = 인장주근의 항복강도
- $B$  = 벽의 압축축 폭으로 기둥이 있는 경우 기둥의 폭
- $l_w$  = 바벨형의 경우 벽체 양측 기둥의 중심간 거리 또는 장방형의 경우 0.9D,  $N$  = 축력
- $a_w$  = 벽체의 수직근의 전단
- $\sigma_{wy}$  = 벽체의 수직근의 항복강도
- $D$  = 벽의 전체길이 (m),

##### ② ACI 318 -99 기준

$$\phi M_n = \phi \left[ 0.5 A_s f_y l_w \left( 1 + \frac{P_u}{A f_y} \right) \left( 1 - \frac{c}{l_w} \right) \right] \quad (\text{tf} \cdot \text{m}) \dots\dots\dots (\text{식 } 2)$$

$A_s$  = 수직 철근의 전체 단면적( $\text{cm}^2$ )

$h$  = 벽체의 콘크리트 단면을 사각형 단면으로 치환한 두께

$P_u$  = 축하중(tonf),  $l_w$  = 벽의 수평길이(cm)

$f_{ck}$  = 공시체 압축강도( $\text{kgf/cm}^2$ )

$$\frac{c}{l_w} = \frac{w + \alpha}{2w + 0.85 \beta_1}$$

$$w = \left( \frac{A_s}{l_w h} \right) \frac{f_y}{f_{ck}}$$

$$\alpha = \frac{P_u}{l_w h f_{ck}}$$

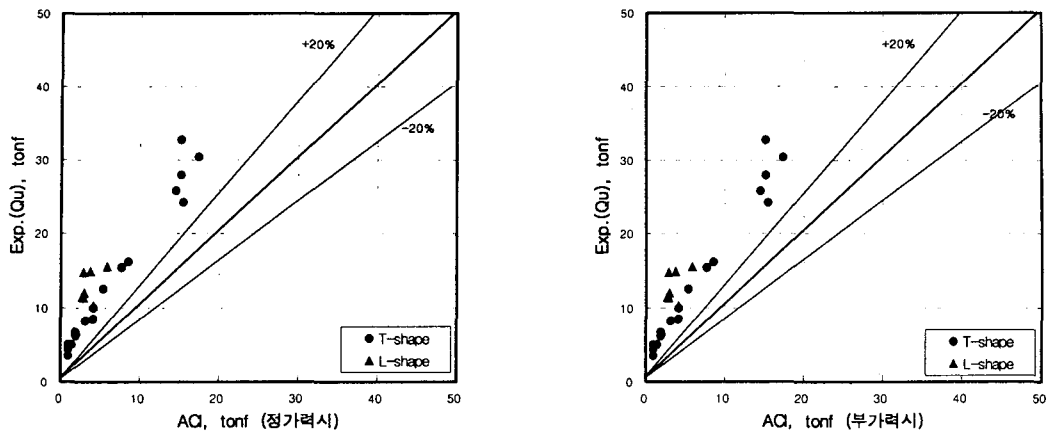
### 3.2 기존 규준식의 분석

AIJ의 약산식과 ACI 318-99식을 이용하여 실험결과와의 적합성 여부를 비교·분석한 결과를 그림 2에 나타내었다.

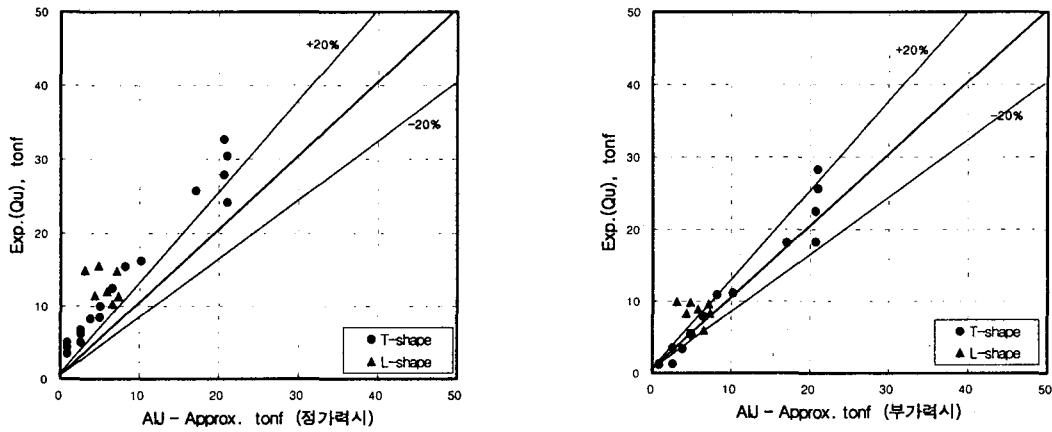
그림 2에 나타난 바와 같이 가로축은 규준식 및 제안식에 의한 예측값이고, 세로축은 실험값에 의한 최대 휨내력 값이다. 대각선의 굵은 실선은 완전한 상호관계를 나타내는 선이고, 상하 20% 오차범위를 나타내는 선을 가는 실선으로 표시하였다. 여기서 예측값 적용시 플랜지의 유효폭 역할에 대해서 무시하고 계산하였다.

표 2. 휨강도 비교대상 실험체 일람표

Ref No.	Shape	Specimen	$h_w/l_w$	Wall(web)					Wall(flange)				$f_{ck}$ ( $\text{kgf/cm}^2$ )	P(ton)	Q <sub>u</sub> tonf	
				$l_w$ (cm)	$h_w$ (cm)	$t$ (cm)	$\rho_v$ (%)	$f_v$ ( $\text{kgf/cm}^2$ )	$l_w$ (cm)	$t$ (cm)	$\rho_v$ (%)	$f_v$ ( $\text{kgf/cm}^2$ )			정(+)	부(-)
1	T	HCTW-h	4	50	200	9	0.71	5750	100	10.0	0.64	5750	339	15.30	8.21	3.33
	T	HCTW-75	2.67	75	200	9	0.55	5750	100	10.0	0.64	5750	600	40.50	16.20	11.10
	T	HCTW-100	2	100	200	9	0.47	5750	100	10.0	0.64	5750	600	54.00	25.80	18.10
	T	TW	3	50	150	9	0.71	5750	100	10.0	0.64	5750	339	15.30	8.45	5.42
	T	TW-h	4	50	200	9	0.71	5750	100	10.0	0.64	5750	339	15.30	8.21	3.33
	T	TW-w	2	75	150	9	0.55	5750	100	10.0	0.64	5750	600	15.30	15.40	10.90
	T	HCTW	3	50	150	18	0.71	5750	100	10.0	0.64	5750	600	27.00	12.49	7.85
	T	TWC	2.8	100	300	18	1.16	4295	200	20.0	0.57	4295	339	62.00	30.44	28.32
	T	TWO-a	2.8	100	300	18	0.90	4295	200	20.0	0.57	4295	339	62.00	24.16	25.68
	T	TWO-b	2.8	100	300	18	0.32	4295	200	20.0	0.78	4295	339	62.00	27.95	22.46
T	TWO-c	2.8	100	300	18	0.32	4295	200	20.0	0.78	4295	339	62.00	32.75	18.26	
2	T	FS 6	2.32	50	116	3	0.35	3500	60	3.0	0.35	3500	389	0.00	3.56	1.17
	T	FM 6	2.32	50	116	3	0.35	3500	100	3.0	0.35	3500	348	0.00	4.43	1.21
	T	FL 6	2.32	50	116	3	0.35	3500	150	3.0	0.35	3500	395	0.00	5.03	1.28
	T	FS 10	2.32	50	116	3	0.35	3500	60	3.0	0.35	3500	347	0.00	6.78	3.50
	T	FM 10	2.8	50	116	3	0.35	3500	100	3.0	0.35	3500	341	0.00	6.17	3.48
	T	FL 10	2.8	50	116	3	0.35	3500	150	3.0	0.35	3500	369	0.00	6.42	3.45
	T	FM 10	2.8	50	116	3	0.35	3500	100	3.0	0.35	3500	319	0.00	5.06	1.28
4	L	L-X	2.1	92	194	7.8	0.28	1680	122.2	8.4	0.28	1680	319	0.00	14.76	9.66
5	L	LBS-X	2.1	92	194	7.7	0.29	2080	67.2	7.3	0.29	2080	242	0.00	14.89	9.89
	L	LBL-X	2.1	92	194	7.4	0.29	2080	147.2	7.9	0.27	2080	254	0.00	15.14	9.87
6	L	L-XN	1.56	60	94	10.0	0.44	2000	60	10.0	0.44	2000	311	34.21	10.31	5.88
7	L	L-XNS	1.56	60	94	10.0	0.44	1713	60	10.0	0.44	1713	248	26.00	11.45	8.32
	L	L-XNM	1.56	60	94	10.0	0.44	1713	60	10.0	0.44	1713	225	43.44	12.03	8.87
	L	L-XNL	1.56	60	94	10.0	0.44	1713	60	10.0	0.44	1713	224	60.77	11.32	8.27



(a) ACI 규준식과의 비교



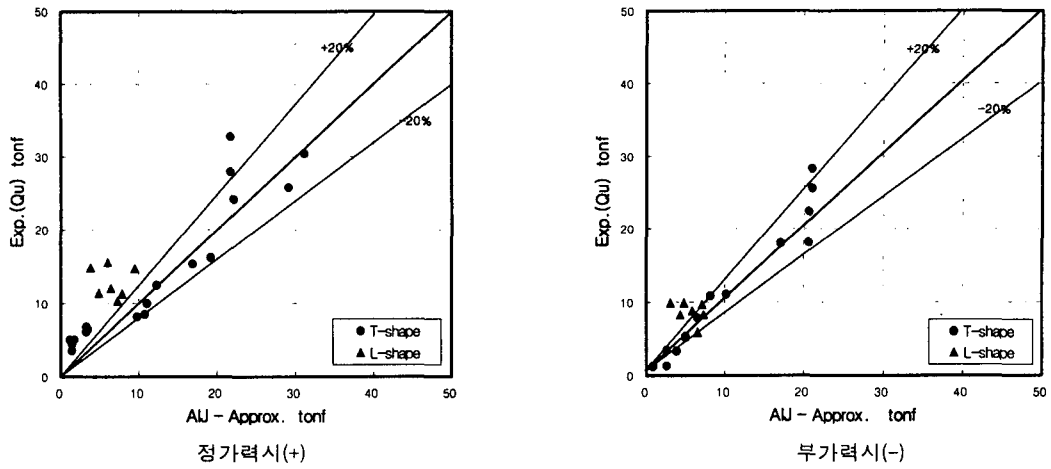
(b) AIJ 약산식과의 비교

그림 2 실험치와 기존 이론식과의 비교

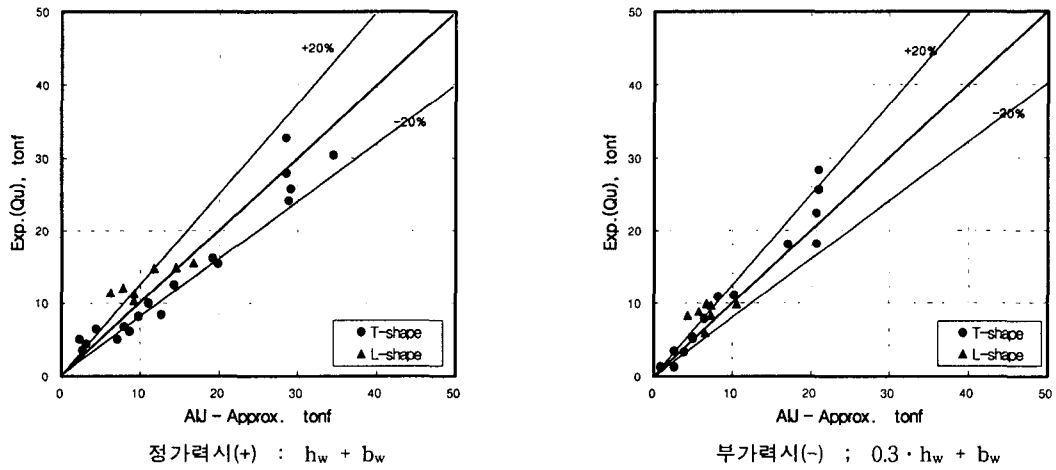
그림 2를 살펴보면 ACI규준식보다는 AIJ 약산식의 예측값이 상하 20%의 오차범위 안에서 실험값과 비교적 잘 일치하고 있다는 것을 알 수 있으나, 그림 2(b)에서 정가력시, 즉 플랜지가 인장을 받는 경우에 대해서는 기존 규준에 플랜지의 유효폭에 대한 개념을 도입하여 재평가하는 것이 필요하다고 사료되어진다.

### 3.3 유효폭에 따른 휨내력식 평가

표 1에서 나타낸 유효폭에 관한 각 규준의 변수들 중, 벽체의 높이( $h_w$ ) 즉,  $0.1h_w$ ,  $0.25h_w$ , Paulay & Priestley가 제안한 유효폭을 변수로 하여 각각 기존 규준식에 적용하여 그림 3에 나타내었다. 유효폭을 PCI 기준에 따라  $0.1h_w$ 로 가정한 경우는 플랜지가 인장을 받는 정가력시, AIJ식에 적용했을 때 유효폭 개념을 도입하지 않은 경우와 마찬가지로 내력을 과소평가하고 있었다. 또한 유효폭을  $0.25h_w$ 로 제안한 ACI 규준은 L형 벽체에 대한 내력을 과소평가하고 있는 것으로 나타났으며, Paulay & Priestley에 의해 제안된 유효폭을 적용한 경우는 예측값이 상하 20%의 오차범위 안에서 실험값과 잘 일치하고 있다.



(a) ACI 기준 ( $h_w/4$ )



(b) Paulay & Priestley의 제안

그림 3 유효폭에 따른 휨내력식 비교

#### 4. 휨강도 내력식의 제안

그림 3의 분석결과를 통해서 알 수 있듯이 Paulay & Priestley에 의해 제안된 유효폭을 적용한 AIJ 약산식을 보다 안전측으로 재평가 하고자 ACI 기준에서 적용하고 있는 휨을 받는 부재에 대한 강도 저감계수 0.9를 적용하였다. 그 결과를 그림 4에 나타내었으며, 제안식은 다음과 같다.

$$\phi M_u = a_t \cdot \sigma_y \cdot l_w + 0.5 a_w \cdot \sigma_{wy} \cdot l_w + 0.5 N \cdot l_w \quad (\text{tf} \cdot \text{m}) \dots\dots\dots (\text{식 } 3)$$

여기서,  $\phi$  : 강도저감계수(0.9), 플랜지의 유효폭 : Paulay & Priestley의 제안을 사용

그림 4을 통해 알 수 있듯이 식 3을 적용하여 벽체의 휨내력을 보다 안전측으로 적절하게 예측하는 것이 가능하였다.

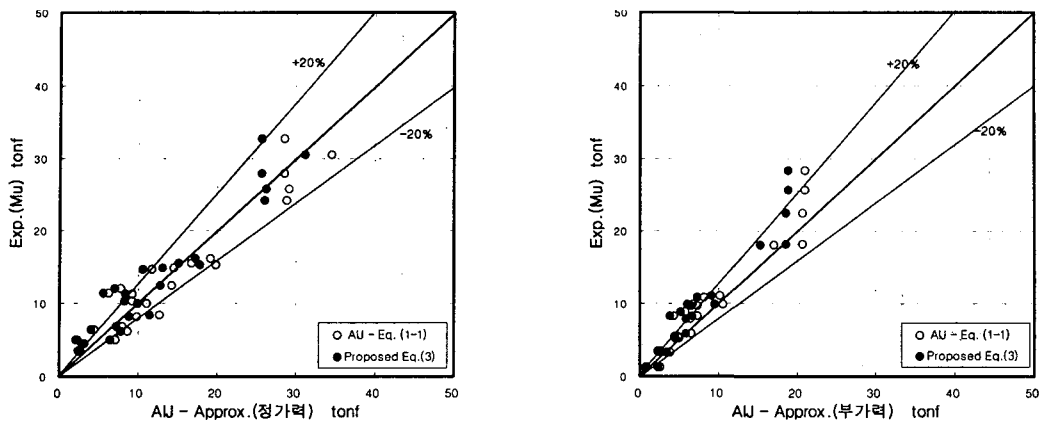


그림 4 AIJ 약산식(1-1) 및 본 연구의 제안식(3)과 실험값의 비교

## 5. 결론

기존의 이형벽체 실험결과 데이터를 이용하여 분석한 결과, 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 이형벽체의 휨강도 내력식의 평가에 있어서 기존 단일벽체의 내력식에 유효폭의 개념을 도입하여 평가함으로써 보다 합리적인 내력평가가 가능하였다.
- 2) 기존 내력식으로는 플랜지가 인장을 받는 경우(정가력시)에 벽체의 휨내력 평가를 제대로 평가하지 못하고 있으나, Paulay & Priestley에 의해 제안된 유효폭을 적용한 AIJ 약산식에 강도저감계수를 곱함으로써 보다 안전측으로 벽체의 휨강도 내력을 평가할 수 있었다.

## 6. 감사의 글

본 연구는 한양대학교 초대형 구조시스템 연구센터의 연구비 지원으로 수행된 연구의 일부분으로서 연구비 지원에 감사 드립니다.

## 참고문헌

1. 대한주택공사 주택연구소, “이형벽체의 구조성능 평가실험에 의한 배근상세 개발,” 2001. 2.
2. 溝口光南, 佐藤敏之, 川口剛平, 荒井康幸, 荒川 卓, “鉄筋コンクリートT型開断面耐震壁の弾塑性性狀,” 日本建築學會學術講演梗概集, 昭和 58年 9月, pp.2013~2016.
3. T. Kabeyazawa, T. Ohkubo and Y. Nakamura, “Test and Analysis of Reinforced Concrete Core Walls in Hybrid Structure,” Pacific Conference on Earthquake Engineering, Australia, 20-22, November 1995, pp.145~153.
4. 溝口光南, 荒井康幸, “二方向水平力を受ける鉄筋コンクリートL型開断面耐震壁の弾塑性性狀に関する実験的研究,” 日本建築學會構造系論文報告集, 第450号 1993年 8月, pp.71~80.
5. 溝口光南, 荒井康幸, “二方向水平力を受ける鉄筋コンクリートL型開断面耐震壁の弾塑性性狀に関する実験的研究(その2),” 日本建築學會構造系論文報告集 第464号, 1994年 10月, pp.101~108.
6. Fouad Khairallah, Yasuyuki Arai, Mitsuo Mizoguchi, and Chikara Takeda, “Flexural Behavior of RC L-Shape Shear Walls under a Normal Force and Bi-Direction Reversal Forces,” 콘크리트工学年次論文報告集, Vol.17, No.2, 1995, pp.553~558.