

철근콘크리트 T형 벽체의 콘크리트 구속을 위한 횡철근의 배근범위

하상수^{1)*} · 오영훈²⁾ · 최창식³⁾ · 이리형¹⁾

¹⁾한양대학교 건축공학부 ²⁾건양대학교 건축공학과 ³⁾대진대학교 건축공학과

(2002년 7월 24일 원고접수, 2002년 9월 12일 심사완료)

Confinement Range of Transverse Reinforcements for T-shaped Reinforced Concrete Walls

Sang-Su Ha^{1)*}, Young-Hun Oh²⁾, Chang-Sik Choi³⁾, and Li-Hyung Lee¹⁾

¹⁾ Dept. of Architectural Engineering, Hanyang University, Seoul, 133-791, Korea

²⁾ Dept. of Architectural Engineering, Konyang University, Nonsan, 320-711, Korea

³⁾ Dept. of Architectural Engineering, Daejin University, Kyeonggi-do, 487-711, Korea

(Received July 24, 2002, Accepted September 12, 2002)

ABSTRACT

The objective of this study is to determine the range of confinement for the transverse reinforcement of the reinforced concrete structural walls with the T-shaped cross section subjected to cyclic lateral loads. The range of confinement for transverse reinforcement is related to the location of neutral axis and determined by the magnitude and distribution of compressive strain. The compressive strain depends on the ratio of wall cross sectional area to the floor-plan area, the aspect ratio, configuration, the axial load, and the reinforcement ratios. By affection of flange, the neutral axis appears different depending on positive and negative forces and because of this reason, when web and flange are subjected to compressive stress, the range of confinement for the transverse reinforcement of T-shaped walls would shows different result. Therefore this experimental research focused on the structural characteristics of T-shaped walls and suggested the neutral axis depth through comparing the results of this study with sectional analysis.

Keywords : rectangular walls, T-shaped walls, transverse reinforcement, range of confinement, compressive strain, neutral axis

1. 서 론

1.1 연구배경

구조벽체는 단면형태에서 직사각형 벽체 이외에도 T형, L형, H형(이하, "이형벽체"라 칭함.)등 다양한 단면형상으로 존재하고 있으나, 기존에 연구된 벽체는 대부분 직사각형 벽체를 대상으로 하고 있다. 구조벽체의 구조성능을 향상시키기 위한 기존 연구자들의 많은 노력은 직사각형 벽체를 대상으로 한 연구결과를 바탕으로 설계조항이 정립되어 이용되고 있으나, 이형벽체의 설계와 이력거동을 충분히 반영하기에는 미흡한 점이 많은 실정이다. 즉, 이형벽체에 대한 설계는 직사각형 벽체의 설계조항을 그대로 적용하기 때문에 직사각형 벽체와 다른 구조성능과 이력거동 특성을 충분히 반영하지 못할 수 있으며, 결과적으로 원래 설계단계에서 의도한 것과 다른 파괴 거동을 초

래할 수 있다. 특히, 횡철근 구속범위를 적용할 경우, 직사각형 벽체에 적용되는 구속범위를 이형벽체에 적용하기보다는 이형벽체에 대한 구조적 특성을 파악하여 적절한 횡철근 범위를 결정하는 것이 바람직할 것으로 판단된다.

횡철근의 구속범위에 대해 Wallace¹⁾는 압축 콘크리트 변형율이 0.004를 초과하는 부분을 구속하여야 한다고 제안하고 있다. 이 제안을 바탕으로 UBC-97²⁾에서는 기본적으로 극한 압축 변형율이 0.003을 초과하는 부분을 확보강하도록 하고 있으며, 구체적으로는 Fig. 1에 나타난 바와 같이 축하중의 비율에 따라 다르게 제안하고 있다. 또한, ACI 318-99³⁾에서는 압축영역의 절반인 $c/2$ 에 해당되는 부분을 구속하도록 하고 있다. 한편, UBC-97에서는 벽체의 요구변형 능력을 고유주기에 따라 변위각(θ_u)이 2.0% 또는 2.5%를 확보하도록 하고 있다. 이러한 배경은 중립축을 기준으로 한 압축변형율의 선형적 분포에 따른 것으로 횡철근의 구속범위가 규준에 제시되어 있는 요구조건을 만족하면, 구조 벽체에서 콘크리트의 압축파괴와 철근의 좌굴과 같은 국부적인 파괴의 가능성을 최소화 할 수 있음을 의미한다. 좌우 대칭으로 배근된 직사각형 벽

* Corresponding author

Tel : 02-2290-1723 Fax : 02-2281-2557

E-mail : drhaha@haver.com

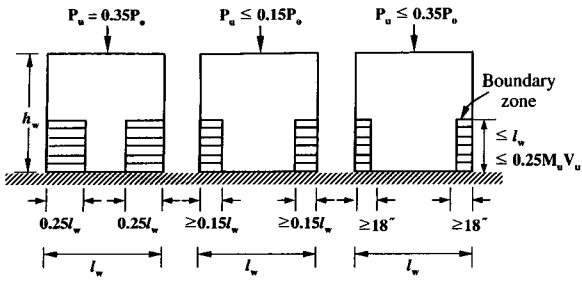


Fig. 1 Required confinement dimensions

체가 반복적인 수평하중을 받을 경우, 정가력과 부가력의 구조적 특성은 같게 나타나기 때문에 중립축 깊이는 좌우 같은 위치에 존재한다. 그러나 T형 벽체의 경우는 플랜지의 영향으로 정가력과 부가력의 구조적 특성이 다르기 때문에 중립축 깊이가 다르게 나타난다. 즉, 복부가 압축을 받는 경우는 플랜지의 영향으로 중립축 깊이(c)가 직사각형 벽체보다 크게 나타나므로 압축 콘크리트 구속범위를 증가시켜야 할 것으로 판단되며, 반대로 복부가 인장을 받는 경우는 중립축 깊이(c)가 직사각형 벽체보다 작게 나타나므로 플랜지 부분의 압축 콘크리트 구속범위는 직사각형 벽체의 구속범위보다 작을 것으로 판단된다. 따라서, 본 연구에서는 여러 이형벽체 중 T형 벽체를 대상으로 하여 구조실험과 단면해석을 통해 T형 벽체의 구조적 특성과 중립축 깊이를 파악하여 횡철근이 배근되어야 하는 구속범위를 제안하고자 한다.

2. 압축변형을 산정

구조벽체는 전단력, 압축력, 모멘트를 동시에 받게 되면서 복부 하단부에서 취약적인 파괴가 나타날 수 있다. 따라서 구조벽체의 구조성능은 복부 하단부에 압축력과 모멘트에 의한 높은 압축 응력이 집중되는 복부 하단부를 횡철근으로 적절히 구속함으로써 구조벽체의 구조성능을 향상시킬 수 있다. 극한 압축변형율과 곡률등을 이용하여 Wallace⁴⁾는 횡철근이 배근되어야 하는 구속범위를 제안한 바 있으며, Wallace에 의해 제안된 극한변형을 산정식은 식 (1)과 같다.

$$\epsilon_{cu} = \left[\frac{\left(\rho + \rho'' - \frac{\gamma}{\alpha} \rho' \right) \frac{\alpha f_y}{f_{ck}} + \frac{P}{l_w t_w f_{ck}}}{\left(0.85 \beta_1 + 2 \rho'' \frac{\alpha f_y}{f_{ck}} \right)} \right] \phi_u l_w \quad (1)$$

여기서, ρ' : 압축철근비(= $A'_s / t_w l_w$)
 ρ : 인장철근비(= $A_s / t_w l_w$)
 P : 압축력

t_w : 벽체두께
 l_w : 벽체길이
 ϕ_u : 극한 곡률
 α : 철근의 초과강도 계수(=1.5)
 γ : 철근의 변형율경화 계수(=1.25)

식 (1)은 직사각형 벽체, T형 벽체, 그리고 L형 벽체에 서 적용이 가능하며, 바벨형 벽체도 이와 유사한 표현으로 유도할 수 있다. 식 (1)에 나타난 $\phi_u l_w$ 는 Wallace와 Mochole⁵⁾에 의해 다음과 같이 제시되었으며, 부재각은 바닥 면적에 대한 벽량비 형태로 나타낼 수 있다.

$$\phi_u l_w = 0.0025 \left[1 - \frac{1}{2} \frac{h_w}{l_w} \right] + 2 \frac{\delta_u}{h_w}$$

$$\frac{\delta_u}{h_w} = 0.00023 \frac{h_w}{l_w} \sqrt{\frac{1}{p}} \quad (2)$$

여기서, h_w : 벽체높이
 δ_u/h_w : 부재각
 p : 바닥면적에 대한 벽량비

그리고 극한 압축변형율은 중립축 깊이(c)는 식 (3)의 형태로 표현되며, Fig. 2에서 변형율 분포에 따라 식 (4)와 식 (5)식을 얻을 수 있다. 또한, 식 (4)식을 식 (5)식에 대입하여 정리하면 중립축 깊이를 산정할 수 있으며, 식 (1)과 식 (3)의 관계로부터 쉽게 구할 수 있다.

$$\epsilon_{cu} = c \phi_u \quad (3)$$

$$C_c = 0.85 f_{ck} \beta_1 c t_w$$

$$C'_s = l_w t_w \rho' \gamma f_y \quad (4)$$

$$T_s = l_w t_w \rho \alpha f_y$$

$$T''_s = (l_w - 2c) t_w \rho'' \alpha f_y$$

$$C_c + C'_s = T_s + T''_s + P \quad (5)$$

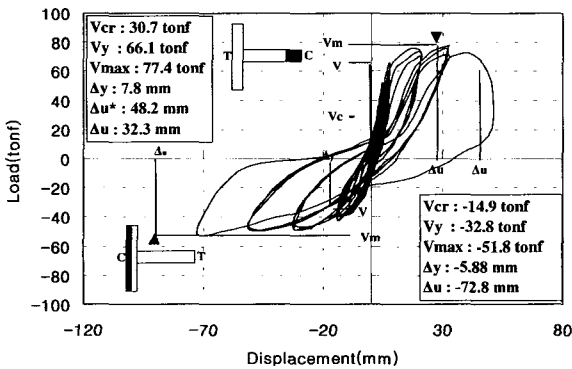
3. 실험 결과

3.1 실험 개요

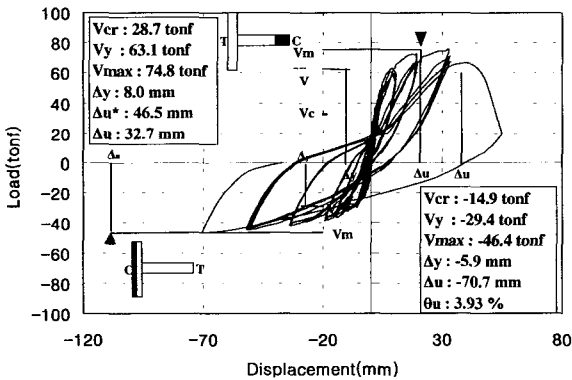
본 연구는 반복수평 하중을 받는 T형 벽체의 거동특성을 파악하고, T형 벽체의 횡철근의 구속범위를 제안하기 위하여 TC 실험체와 TC-aw 실험체를 제작하여 구조실험을 행하였다. TC 실험체는 ACI 318-99 기준에 제시되어 있는 Zone 4 지역에 대한 단부보강 상세를 기준으로

우가 된다. 대부분의 T형 벽체의 경우 복부의 압축면적이 플랜지에 비해 작으므로 복부에 압축력이 작용할 경우 가장 취약한 상태가 된다. 본 실험체의 경우도 이와 마찬가지로 정가력 즉, 복부가 압축력을 받았을 때 콘크리트 압괴와 수직철근에서 좌굴이 발생되어 최대강도 후 강도가 저하되어 취성적인 파괴 거동을 보이고 있다. 그러나 부가력인 경우는 압축을 받는 플랜지에서 콘크리트 압괴는 발생되지 않았으며, 인장을 받고 있는 복부 철근은 항복이 후에도 연성적인 거동을 보여주고 있다. Table 1에 나타난 실험체의 항복변위(Δ_y)는 항복하중에 대응하는 변위를 말하며, 항복하중은 단부의 모든 인장철근이 항복한 시점

에서 결정한 값이다. 최대변위는 정가력시 최대내력(V_{max})의 80% 이하로 내력저하가 발생하지 않으면서 처음 의도한 3회의 비탄성 반복하중을 완전히 경험한 stage의 최대변위 값으로 결정하였다. 부가력시에는 내력저하가 발생되지 않아 최대내력에 해당되는 변위로 결정하였다. 실험결과 TC 실험체의 최대강도는 TC-aw 실험체에 비해 정가력시 35%, 부가력시 11.6% 높게 나타났으나 그 차이는 미소하였으며, 변위연성비, 변형성능, 그리고 기타 실험결과도 횡철근의 구속면적에 따라 비슷한 값을 보여주고 있다. 이러한 이유는 두 실험체 모두 횡철근이 충분하지 못했기 때문인 것으로 판단된다. 그러나 정가력과 부가력의 구조성능은 뚜렷한 차이를 보여주고 있다. 강도 측면에서 보면 정가력이 부가력에 비해 우수하게 나타났으며, 변위연성비, 변형성능, 그리고 항복시 부재각 측면에서 보면 부가력이 정가력에 비해 우수하게 나타났다. 이러한 이유는 정가력시에는 복부 단부에 집중된 압축력으로 인해 최종 상태에 도달되었기 때문이며, 부가력시에는 플랜지의 영향으로 복부 단부의 인장철근에 의해 최종 상태에 도달되었기 때문인 것으로 판단된다. 변형성능($m\theta_u$)에 대해서는 정가력시 TC 실험체는 1.79%, TC-aw 실험체는 1.82%로 나타나 UBC-97에 제시하고 있는 2~2.5% 보다 작은 변형성능을 보여주고 있어 $0.15 l_w$ 의 구속범위는 안전측이지 못한 결과를 보여주고 있다.



(a) TC Specimen



(b) TC-aw Specimen

Fig. 4 Load - Displacement curves

4. 단면 해석

T형 벽체의 복부 단부에 있는 콘크리트를 적절히 구속하기 위한 횡철근의 배근범위를 평가하기 위하여 단면해석을 수행하였다. 단면해석은 구속된 콘크리트의 역학적 특성을 고려할 수 있는 프로그램(UCFyber)⁷⁾을 이용하여 단면의 모멘트-곡률 관계를 하중-변위 관계로 환산하여 실험체의 하중-변위 관계와 비교하였다. UCFyber는 횡철근에 의해 구속된 콘크리트의 모델을 고려할 수 있으며, 횡보강된 변형률-응력관계는 Mander와 Priestley⁸⁾가 제안한 모델을 이용하였다. 하중-변위 곡선을 Fig. 5에 비교하

Table 1 Test results of specimens

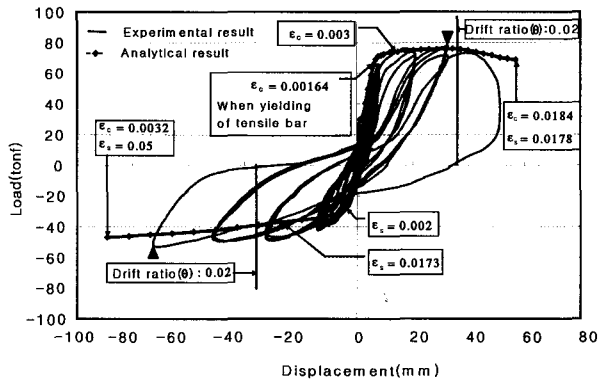
Specimens	V_{cr} (tonf)	V_y (tonf)	V_{max} (tonf)	Δ_y (mm)	Δ_u^* (mm)	Δ_u (mm)	μ ($\frac{\Delta_u}{\Delta_y}$)	θ_u (%)	θ_y (drift angle)
TC	+	30.7	66.1	77.4	7.80	48.2	32.3	4.14	1.79
	-	14.9	32.8	51.8	5.88	72.8	72.8	11.73	4.04
TC-aw	+	28.7	63.1	74.8	8.00	46.5	32.7	4.09	1.82
	-	14.9	29.4	46.4	5.90	70.7	70.7	11.59	3.93

V_{cr} : Initial crack load, V_y : Yield strength, V_{max} : Maximum strength
 Δ_u : Displacement corresponding to the V_{max} ,
 μ : Displacement ductility ratio,

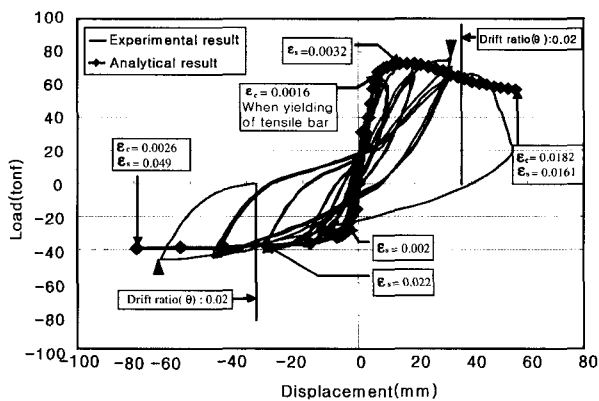
Δ_y : Displacement corresponding to the V_y ,
 Δ_u^* : Displacement corresponding to the $0.85 V_{max}$,
 θ_u : Deformation capacity (Δ_u / h_w)

여 나타내었으며, 각각의 결과값을 비교하여 Table 2에 나타내었다.

Fig. 5와 Table 2에 나타난 바와 같이 초기균열 하중, 항복하중, 항복변위, 최대하중 그리고 항복시 부재각을 비교해 본 결과, 정가력과 부가력 모두 10% 내외로 비교적 유사한 값을 보여주고 있으며, 복부가 압축을 받는 경우에는 복부 단부의 압축 콘크리트가 파괴되어 취성적인 파괴 거동을 보이고, 플랜지가 압축을 받는 경우에는 복부 단부의 인장 철근에 의해 연성적인 거동을 보여주고 있다. 이러한 이유는 T형 벽체의 플랜지가 플랜지의 영향으로 압축응력을 부담할 수 있는 충분한 압축면적을 보유하고 있



(a) TC Specimen



(b) TC-aw Specimen

Fig. 5 Comparison of experimental VS. analytical results

Table 2 Comparison of experimental and analytical results

Specimens	TC						TC-aw					
	Positive			Negative			Positive			Negative		
	Exp.	Ana.	Ex. An.	Exp.	Ana.	Ex. An.	Exp.	Ana.	Ex. An.	Exp.	Ana.	Ex. An.
V_{cr} (tonf)	30.7	29.7	1.03	14.9	16.4	0.91	28.7	30.9	0.93	14.9	16.0	0.93
V_y (tonf)	66.1	65.7	1.01	32.8	29.0	1.13	63.1	64.3	0.98	29.4	28.9	1.02
V_{max} (tonf)	77.4	75.7	1.02	51.8	45.2	1.15	74.8	72.7	1.03	46.4	39.2	1.18
Δ_y (mm)	7.80	5.63	1.39	5.88	4.81	1.22	8.0	5.87	1.35	5.90	4.72	1.25
θ_u (%)	1.79	3.16	0.57	4.04	8.83	0.46	1.82	3.10	0.59	3.93	9.50	0.41

V_{cr} : Initial crack load, V_y : Yield strength, V_{max} : Maximum strength
 θ_u : Deformation capacity(Δ_u / h_w)

어 콘크리트의 취성파괴가 발생되지 않았기 때문인 것으로 판단된다. 실험체의 변형능력(θ_u)은 정가력시 실험결과와 해석결과가 다소 상이한 부분도 있었지만 전체적으로 무리가 없는 범위에서 T형 벽체의 변형능력을 양호하게 파악할 수 있다고 판단된다. 즉, TC 실험체에서 변위각이 2%에 도달하기 전에 내력저하에 의해 취성적인 파괴를 보여주고 있지만, 단면해석에서는 다소 연성적인 거동을 보이는 것으로 예측되었다. 이러한 이유는 단면해석에서는 비탄성 사이클이 반복되면서 발생하는 강도저하, 강성저하, 손상의 집중효과 등에 의한 영향을 고려할 수 없었기 때문이라고 판단된다. 또한, 부가력시에는 단면해석에 의한 값(TC : 8.83 %, TC-aw : 9.50 %)이 실험에 의한 값(TC : 4.04 %, TC-aw : 3.93 %)보다 큰 값을 보여주고 있는 이유는 정가력시 복부의 콘크리트 압괴로 인해 최종 파괴상태에 도달되어 실험이 종료되었기 때문이며, 만약 최종 파괴에 도달되기 전 부가력으로 최종 파괴상태에 도달되도록 실험을 진행되었다면, 실험에 의한 부가력시 변형능력은 단면해석과 같은 유사한 값을 얻을 수 있었을 것으로 판단된다.

5. T형 벽체의 중립축 깊이 산정

수평하중에 의해 압축응력이 작용하는 T형 벽체의 복부 단부의 적절한 횡보강 구속범위를 제안하기 위해 이론식과 단면해석에 의한 응력도 분포, 그리고 실험체(TC 실험체)의 수직철근에 부착한 변형계이지 분포 등을 비교하였으며, 정가력일 경우와 부가력일 경우 중립축 깊이의 변화를 파악하였다.

5.1 이론식에 의한 T형 벽체의 중립축 산정

이론식에 의한 T형 벽체의 중립축 산정을 위해 식 (1)을 이용하였으며, 복부가 압축력을 부담하고 플랜지가 인장력을 부담하는 것으로 가정하였다. 인장철근비($\rho = 20 \times 1.27 / (100 \times 15) = 0.01693$)는 플랜지의 전구간을 유효폭으로 가정하여 플랜지에 배근된 모든 철근을 고려하여 계

산되었으며, 복부 단부의 횡철근으로 구속된 압축철근비 ($\rho' = 4 \times 1.27 / (100 \times 15) = 0.00338$)는 4개의 D13 철근을 고려하여 계산되었다.

또한, T형 벽체 중앙에 등간격으로 배근된 철근비 ($\rho'' = 10 \times 1.27 / (100 \times 15) = 0.00847$)는 10개의 D13 철근을 고려하여 계산되었다. 식 (1)에서 인장철근비와 압축철근비가 같을 경우에는 좌우 대칭으로 배근된 직사각형 벽체를 의미하며, 인장철근비가 압축철근비보다 클 경우에는 T형 및 L형과 같은 이형벽체의 플랜지 부분에 인장철근이 존재하고 있음을 의미한다.

Fig. 6은 TC 실험체에 배근된 ρ' , ρ'' 를 각각 0.00338과 0.00847을 고정시키고, ρ 의 범위를 변화시켜 ($\rho : 0.00338 \sim 0.022$) 계산한 중립축 깊이(c)를 나타낸 것이다.

Fig. 6에 나타난 바와 같이 $\rho = \rho' = 0.00338$ 일 때, 즉 직사각형 벽체일 경우 중립축 깊이가 22.2 cm 이고, TC 실험체의 경우에는 중립축 깊이가 47.2 cm로 나타났다. 따라서, ACI 318-99의 제안(c/2)에 따라 횡철근의 구속범위는 직사각형 벽체의 경우(11.1 cm)보다 T형 벽체의 경우(23.6 cm) 횡철근의 구속범위가 더 커야 됨을 알 수 있다.

5.2 실험과 단면 해석에 의한 중립축 길이의 비교

중립축 위치는 단면에 작용하는 하중 단계에 따라 다르게 나타난다. 하중 단계에 따른 벽체의 한계 상태는 Fig. 7에 나타내었다. Fig. 7은 Priestley⁹⁾에 의해 제시된 것으로 크게 δ_y (항복상태, yield state), δ_s (사용 한계상태, serviceability limit state) 그리고 δ_u (극한 한계상태, ultimate limit state)로 구분하여 벽체의 한계 상태를 정의하였다. δ_s 는 압축변형률($\epsilon_c = 0.003$)과 인장변형률($\epsilon_s = 0.015$) 중 먼저 도달될 때의 상태를 말하며, δ_u 는 $\epsilon_c = 0.018$ 과 $\epsilon_s = 0.060$ 중 먼저 도달될 때의 상태를 말한다. 본 연구에서는 기준실험체인 TC 실험체를 대상으

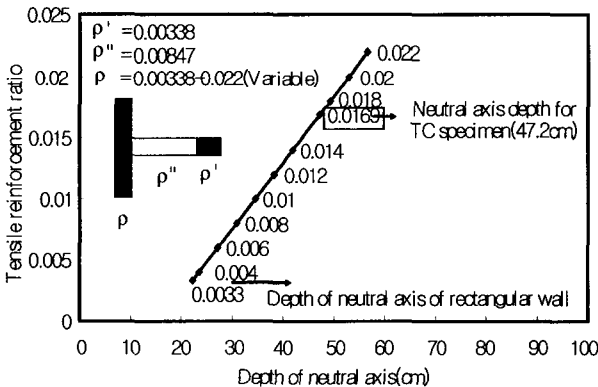


Fig. 6 Variation of neutral axis depth with increasing tensile reinforcement ratio(ρ)

로 위의 3단계의 한계상태에서의 중립축 위치를 파악하였으며, 실험체에 부착한 변형계이지(wire strain gauge (Fig. 3 참조))에서 측정된 변형률 값과 단면해석에 의한 변형률 값을 비교하였다. Fig. 8(a)에 나타난 바와 같이 항복상태에서 복부가 압축을 받는 경우 중립축 위치는 43.5 cm로 나타났으며, 플랜지가 압축을 받는 경우 중립축 위치는 17.35 cm로 나타났다. 또한, 사용 한계상태와 극한 한계상태에서 복부가 압축을 받는 경우 중립축 위치가 각각 33.8 cm와 48.5 cm로 나타나 플랜지가 압축을 받는 경우(각각 7.5 cm, 5.8 cm)보다 중립축 깊이가 훨씬 크다는 사실을 알 수 있다. 따라서, T형 벽체의 압축 콘크리트를 직사각형 벽체와 같이 복부 양단부를 동일하게 배근할 경우, T형 벽체 복부에서 압축을 받는 부분은 직사각형 벽체보다 크게 분포하고 있기 때문에 횡철근의 범위를 $0.15 \ell_w$ 만큼 구속하는 것은 안전측이지 못한 것으로 판단되며, T형 벽체 플랜지가 압축을 받는 경우에는 직사각형 벽체보다 작게 분포하고 있으며, 플랜지의 길이 방향으로 콘크리트의 기여효과가 충분하기 때문에 플랜지 압축축의 파괴에 의한 구조성능의 지체현상은 나타나지 않았다. 따라서, UBC-97에서 플랜지 부분의 횡구속을 위하여 복부 측으로 확장된 횡구속 범위를 요구하는 것은 지나치게 엄격한 요구조건이라고 판단된다.

5.3 복부 단부의 구속범위에 따른 T형 벽체의 중립축 위치

Fig. 9는 T형 벽체의 복부 단부의 구속을 변수로 하여 단면해석 결과를 하중-변위 곡선으로 비교한 그래프이다. 그림에서 보는 바와 같이 단부구속을 하지 않는 것과 15 cm($0.15 \ell_w$) 만큼 복부를 구속한 T형 실험체는 복부가 압축을 받는 경우 최대내력 후 강도가 저하되기 때문에 15 cm 이하의 단부 구속은 불충분한 것으로 판단된다.

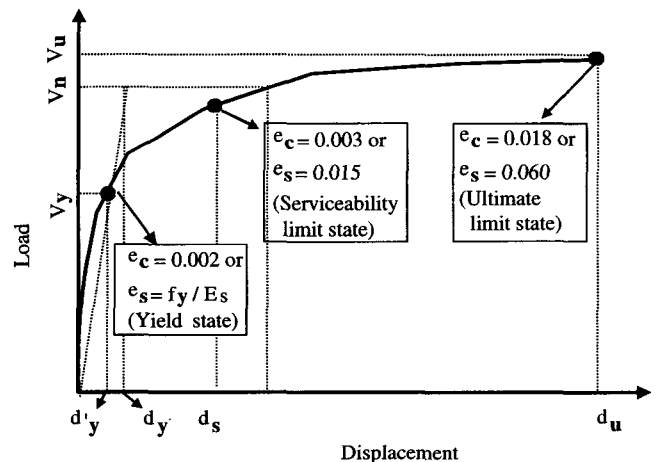
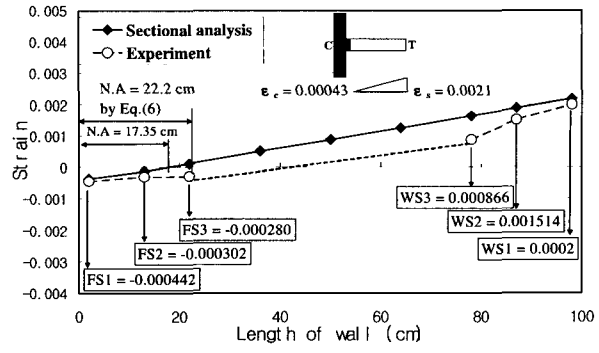
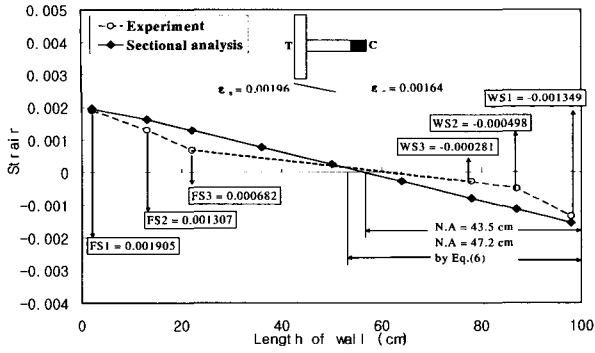
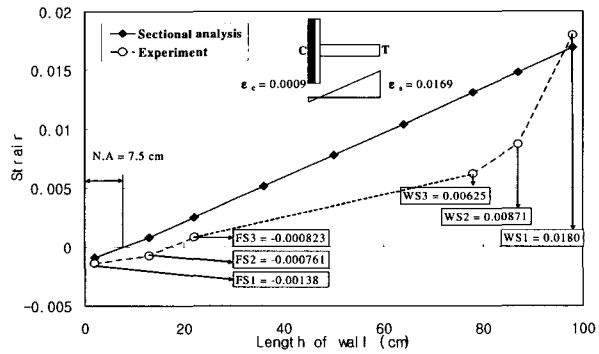
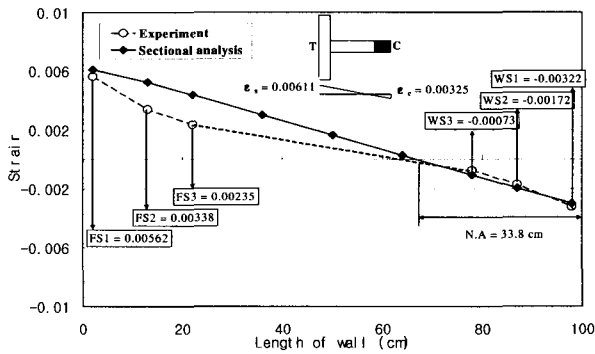


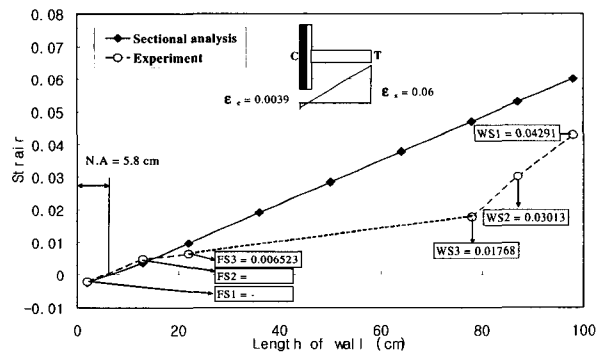
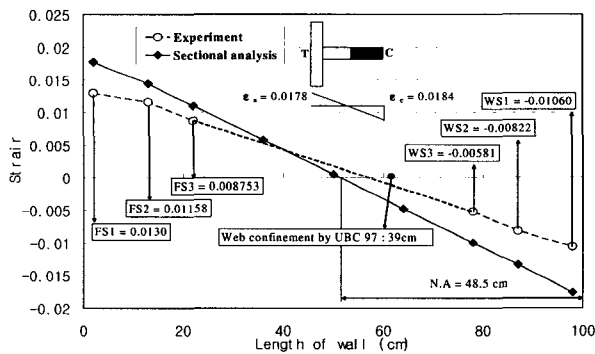
Fig. 7 Load-Displacement relationships and limit state definitions



(a) δ_y (yield state)



(b) δ_s (serviceability limit state)



(c) δ_u (ultimate limit state)

Fig. 8 Neutral axis depth and normal strain profile

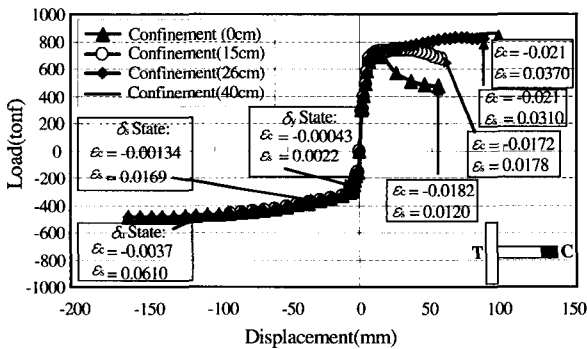
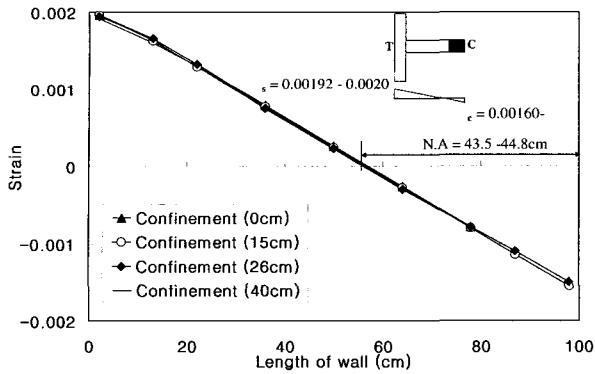


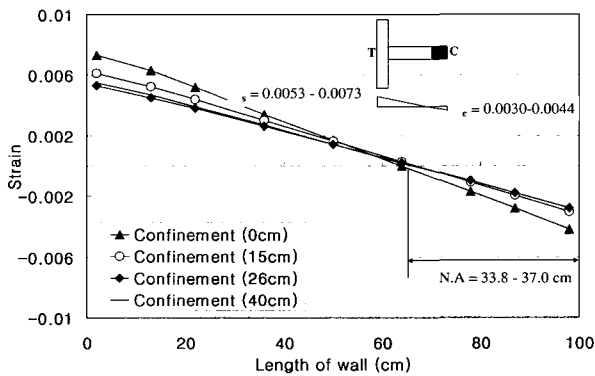
Fig. 9 Load - Displacement curves with web confinement Effects

반면, 26 cm와 40 cm 만큼 복부 단부를 구속한 T형 실험체는 연성을 확보하면서 내력이 서서히 증가하고 있음을 알 수 있으며, 플랜지가 압축을 받는 경우에는 복부 단부의 구속범위와 관계없이 동일한 하중-변위 관계를 보여 주고 있다.

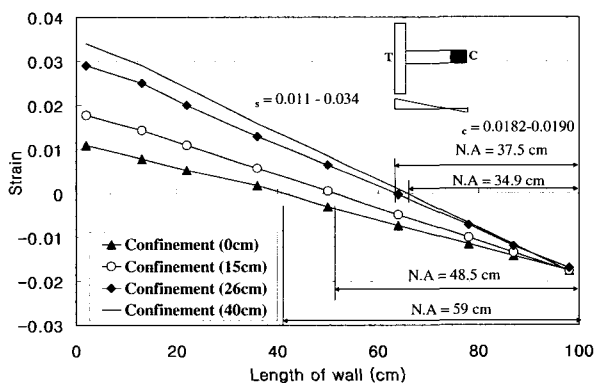
Fig. 10은 복부 단부의 구속범위를 변수(0 cm, 15 cm, 26 cm 그리고 40 cm)로 하여 하중 단계(δ_y , δ_s , δ_u)별 중립축 위치를 비교하여 나타내었다. 초기항복(δ_y) 즉, 플랜지의 인장철근이 항복점에 도달되었을 때 복부 콘크리트의 압축변형율은 0.0016~0.00164 값을 보이며, 중립축 위치는 압축 연단으로부터 43.5~44.8 cm (Fig. 10(a) 참조)로 나



(a) δ_y (Yield state)



(b) δ_s (Serviceability limit state)



(c) δ_u (Ultimate limit state)

Fig. 10 Position of neutral axis by web confinement

타났으며, δ_s 상태에서는 중립축 위치가 33.8 ~ 37 cm (Fig. 9(b) 참조)으로 나타났다. 그리고 δ_u 상태에서는 구속범위에 따라 중립축 위치가 34.9~59 cm (Fig. 10(c) 참조)로 큰 차이를 보여주고 있으며, 압축 변형율이 최대 0.019 값을 보여주고 있어 횡철근이 필요한 하중 단계는 δ_u 상태이며, 이 상태에서 압축변형율이 0.003을 초과되는 부분은 39 cm로 나타났다.

6. 결 론

T형 벽체의 구조적 특성을 파악하고, 횡철근 구속범위를 제안하기 위해 이론식, 실험적 연구, 그리고 단면해석에 의한 해석적 연구로부터 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 이론식에 의한 중립축 위치는 직사각형 벽체와 T형 벽체의 경우 각각 복부 연단으로부터 22.2 cm, 47.2 cm로 나타났다. 따라서 ACI 318-99에 제시되어 있는 $c/2$ 를 적용하였을 때 직사각형 벽체의 횡철근의 구속범위는 최소 11 cm, T형 벽체는 24 cm로 나타났다.

2) 단부구속을 변수로 수행한 단면해석 결과에 의하면, 단부구속을 하지 않은 것과 15 cm 만큼 단부구속 한 실험체는 복부가 압축을 받는 경우 최대내력 후 강도가 저하되는 양상을 보이는 반면, 단부구속을 26 cm와 40 cm 한 실험체는 강도 저하 없이 연성적인 거동을 보여주고 있다. 따라서, TC 실험체(단부 구속 15 cm)와 TC-aw(단부 구속 10 cm)의 구속범위는 요구되는 구조성능을 충족시키지 못한다고 판단되며, 이런 이유로 복부 하단부의 콘크리트 압괴에 의하여 최대내력 후 내력이 저하되고, 결과적으로 2% 미만의 변형성능을 보여주는 원인이라고 판단된다.

3) 횡철근이 배근되어야 할 구속범위는 극한 한계상태를 설정하여 결정되어야 한다고 판단되며, 이 하중 상태에서 압축변형율 0.003을 초과하는 부분을 횡구속이 필요한 범위로 설정한다면 약 $0.4 \ell_w$ (39 cm)로 나타났다. 따라서 UBC-97에서 제안($\leq 0.15 P_o$ 에 대해) 하고 있는 $0.15 \ell_w$ 이상을 구속하는 것은 안전측이지 못한 것으로 판단되며, 향후, 압축력비, 철근비, 형상비등을 고려한 T형 벽체의 구속범위를 산정해야 된다고 사료된다.

4) 단부구속을 변수로 한 단면해석에서 항복상태와 사용 한계상태에서의 중립축 위치는 큰 차이를 보이지 않는 반면, 극한 한계상태에서는 단부구속 범위에 따라 큰 차이 (Fig. 10(c) 참조)를 보여주고 있다. 그러나 플랜지가 압축을 받는 경우에는 단부구속 범위에 관계없이 동일한 하중-변위 관계를 보여주고 있다.

감사의 글

본 연구결과는 한양대 초대형구조시스템 연구센터와 (주)SK 건설의 지원에 이루어진 연구결과의 일부임.

참고문헌

1. John W. Wallace, "Seismic Design of RC Structural Walls, Part I : New Code Format," *Journal of Structural Eng. Div., ASCE*, Jan. 1995, pp.75~87.
2. International Conference on Building Officials, Uniform Building Code, Whittier, California, 1999.

3. ACI Committee 318 , "Building Code Requirements for Structural Concrete(318-99) and Commentary (318-99)," 1999.
4. John W. Wallace, "Seismic Design of RC Structural Walls, Part II : Application," *Journal of Structural Eng. Div., ASCE*, Jan. 1995, pp.88~101.
5. John W. Wallace, "New Methodology for Seismic Design of RC Shear Walls," *Journal of Structural Eng. Div., ASCE*, March. 1994, pp.863~884.
6. 하상수, 오영훈, 최창식, 이리형, "단부구속효과에 따른 RC T형 벽체의 구조성능에 관한 실험적 연구," 대한건축학회 논문집, 제18권, 제6호, 2002.6, pp.39~45.
7. C. Chadwel, "UCFYBER : Cross Section Analysis Software for Structural Engineers," University of California, Berkeley, 1999.
8. J. B. Mander and M. J. N. Priestley, "Theoretical Stress-Strain Model for Confined Concrete," *Journal of Structural Engineering*, Vol. 114, No. 8, August, 1988, pp.1804~1826.
9. M. J. N. Priestley and M. J. Kowalsky, "Aspects of Drift and Ductility Capacity of Rectangular Cantilever Structural Walls," *Bulletin of New Zealand National Society for Earthquake Engineering*, Vol. 31, No. 6, 1998, pp.73~85.

요 약

본 연구는 반복 수평하중을 받는 철근 콘크리트 T형 벽체의 횡철근의 구속범위를 제안하기 위한 것이다. 횡철근의 구속범위는 압축과 인장변형을 분포에 의해 좌우되는 중립축을 기준으로 압축변형률과 콘크리트 극한 변형률의 분포에 따라 결정된다. 압축변형률은 바닥층 평면적에 대한 벽 단면비, 형상비, 단면형상, 압축력, 그리고 철근비 등에 따라 다르게 나타난다. T형 벽체의 중립축은 플랜지의 영향으로 정가력과 부가력이 다르게 나타나며, T형 벽체의 중립축이 직사각형 벽체와 다르기 때문에 압축콘크리트를 구속하여 주는 횡철근의 구속범위가 다르게 나타날 것으로 판단된다. 또한, 좌우 대칭으로 배근되는 직사각형 벽체는 반복적인 수평하중에 대해 좌우 대칭인 구조적 특성을 나타내지만, T형 벽체의 경우는 좌우 비대칭적인 구조적 특성을 보인다. 즉, 복부 단부가 압축을 받는 정가력인 경우, 중립축 깊이(c)가 직사각형 벽체보다 크게 나타나며, 복부 단부가 인장을 받는 부가력인 경우, 중립축 깊이(c)가 직사각형 벽체보다 작게 나타난다. 그러므로, T형 벽체를 직사각형 벽체로 가정하여 좌우 대칭으로 횡철근을 구속할 경우, 압축을 받는 복부 단부에서 요구되는 횡철근의 구속범위가 증가할 것으로 판단된다. 따라서, 본 연구에서는 T형 벽체의 구조적 특성을 파악하고, 실험값과 기존분석 및 단면해석을 비교함으로써 T형 벽체의 중립축 깊이를 제시하였다.

핵심용어 : T형 벽체, 횡철근, 압축변형률, 구속범위