

압축력비와 수직철근비에 따른 RC T형 벽체의 구조성능 평가에 관한 해석적 연구

Evaluation of Structural Performance of RC T-shaped Walls with Different ratios of axial load and vertical reinforcement

하 상 수* 최 창 식** 이 리 형***
Ha, Sang Su Choi, Chang Sik Lee, Li Hyung

Abstract

The objective of this study is to understand the variables affected the confinement for the transverse reinforcement of the reinforced concrete structural walls with the T-shaped cross section subjected to cyclic lateral loads. The structural performance of T-shaped walls was advanced by the transverse reinforcement which restrained the concrete subjected to compressive stress. If the arrangement of transverse reinforcement was not suitable for the confinement, T-shaped walls happened the brittle failure by web crushing or buckling of vertical reinforcement at the compression zone. It is necessary to confine transverse reinforcement in order to prevent these failure. But the location of neutral axis and the magnitude of ultimate strain vary according to the section shape, a ratio of axial load, a ratio of wall cross sectional area to the floor-plan area, an aspect ratio and the reinforcement ratio. Therefore, the objective of this research is to grasp the location of neutral axis and the range which needs for the confinement of transverse reinforcement through the results of the sectional analysis which varies the ratio of axial load and the ratio of vertical reinforcement.

1. 서론

1.1 연구배경

반복수평 하중을 받는 철근 콘크리트 T형 벽체의 구조 성능은 복부 하단부의 응력상태에 따라 크게 좌우된다. 즉, 복부에 일정축력과 수평하중이 동시에 작용할 경우, 복부는 높은 압축응력 상태가 되고, 이로 인하여 복부 하단부의 콘크리트는 수직균열 및 압괴가 발생하고, 수직철근은 좌굴을 일으킨다. 콘크리트 압괴나 철근 좌굴에 의한 파괴는 취성적인 파괴로 구조성능 저하의 원인이 되며, 복부 하단부의 압축저항 성능을 확보하고, 연성도를 향상시킴으로써 이를 막을 수 있다. 횡 철근은 높은 압축 응력을 받고 있는 콘크리트를 구속하여 콘크리트 압괴나 철근 좌굴을 억제하여 구조벽체의 내진성능을 향상시키는 역할을 한다. 휨에 의해 구조성능이 결정되는 구조벽체에 대한 기존 연구에서 횡 철근의 양과 구속범위에 대한 연구가 상당부분 이루어져 왔으며, 이로 인해 횡 철근의 구속범위가 기준에 제시되어 있어 설계에 반영되고 있다. ACI 318-99¹⁾에서는 최소 압축영역의 절반을 횡구속 하도록 제안하고 있다. UBC-97²⁾에서 제안하는 횡구속 범위는 벽체에 작용하는 변형을 분포를 기준으로 할 경우 극한 변형율이 0.003을 초과하는 부분을 기본적으로 횡구속 하도록 제안하고 있으며, 경험에 의

* 정회원, 한양대학교 STRESS 연구조교수, 공학박사 ** 정회원, 대진대학교 건축공학과 교수, 공학박사

*** 정회원, 한양대학교 건축공학과 교수, 공학박사

본 연구는 2002학년도 대진대학교 학술연구비 지원과 과학기술부·한국과학재단 지정 한양대학교 초대형 구조시스템 연구센터의 연구비 지원으로 이루어진 연구결과로서 이에 감사드립니다.

해 설계할 경우에는 벽체 길이의 비율로써 제안하고 있다. 또한, 벽체 하단부에서의 콘크리트 압괴나 철근 좌굴에 의해 국부적으로 발생하는 취성과파괴의 가능성을 배제하기 위해 구조벽체의 고유주기에 따라 변형성능(deformation capacity)을 2.0~2.5% 이상을 확보하도록 제안하고 있다. 이와 같이 횡 철근은 구조벽체의 구조성능에 많은 영향을 미치는 중요한 요소이며, 횡 철근에 의한 횡구속 적용범위는 구조벽체에 작용하는 많은 변수에 의해 다르게 나타나며, 특히, 이형벽체에 대해서는 더 많은 변수에 영향을 받으므로 이에 대한 검토가 필요하다.

1.2 연구의 내용 및 필요성

횡 철근에 의한 횡구속은 벽체 단면에 작용하는 인장과 압축변형을 분포에 따라 다르게 나타난다. 구조벽체에 일정 축하중과 반복적인 수평하중이 작용할 때 구조벽체 단면에서의 변형을 분포는 압축력비, 철근비, 바닥 면적에 대한 벽 단면적 비 등 여러 가지 변수에 의해 다르게 나타나며, 이에 따른 횡구속 범위도 다르게 나타난다. 본 연구에서는 횡구속 범위에 영향을 주는 여러 변수 중에서 압축력비와 철근비를 변수로 선정하고, 각각의 변수를 다시 세분화하여 세분화한 변수에 따라 변형을 분포와 횡 철근의 구속범위가 어떻게 변화하는지를 파악하고자 한다. 이를 위해 압축력비가 0.06 $A_g f_{ck}$ 이고 수직 철근비가 0.0169인 T형 실험체를 기준실험체로 하여 단면해석을 통해 세분화한 변수에 따른 T형 벽체의 구조성능을 파악하고자 한다.

2. 횡 철근 구속에 영향을 주는 변수

반복 수평 하중을 받는 T형 벽체에 축하중과 수직 철근비를 변화시켰을 때, T형 단면에서 변형을 분포와 증립축이 어떻게 변화되는지를 파악하고자 하였다. 각 변수에 대한 해석값은 표 1에 나타내었다. 표에 나타낸 δ_y , δ_s , δ_u 는 Priestley³⁾에 의해 제시된 벽체의 한계 상태를 나타낸 것이다. δ_y (yield state)는 압축변형률($\epsilon_c=0.002$)과 인장변형률($\epsilon_s=f_y/E_s$)중 먼저 도달된 상태를 말하며, δ_s (serviceability limit state)는 $\epsilon_c=0.003$ 와 $\epsilon_s=0.015$ 중, 그리고 δ_u (ultimate limit state) $\epsilon_c=0.018$ 과 $\epsilon_s=0.060$ 중 먼저 도달된 상태를 말한다.

2.1 압축력비

일정 축하중을 T형 단면의 공칭 축하중의 0%, 6%, 10%, 15%, 25%, 35%로 변화시켜 축하중 변화에 따른 횡 철근 구속범위를 파악하고자 하였다. 또한, 각각의 일정한 축하중 조건하에서 수직 철근비를 0.2%, 0.5%, 1.0%, 1.5%, 2.5%, 3.5% 변화시켜 각각의 하중-변위 곡선을 비교하였으며, 그에 따른 횡 철근 구속범위의 변화추이를 파악하고자 하였다. 그림 1은 수직 철근비가 1.69%인 상태에서 일정 축하중의 변화에 따른 각각의 하중-변위 관계를 나타낸 것이다. 그림 1에 나타난 바와 같이, 복부가 압축을 받는 경우 저축력(0%, 6%, 10%)하에서는 연성적인 거동을 보여주고 있는 반면, 고축력(25%, 35%)하에서는 최대내력 후 강도가 급격히 저하되는 양상을 보여주고 있다. 그러나 플랜지가 압축을 받는 경우 내력저하 없이 연성적인 거동을 보여주고 있다. 그림 2는 압축력비를 점점 증가시켰을 때 수직 철근비에 따른 하중-변위 관계를 비교한 것이다. 그림에서 보는 바와 같이 수직 철근비가 높을수록 정가력과 부가력 모두 최대내력에는 우수하게 나타났으나, 동일한 축하중하에서 복부가 압축을 받는 경우에는 수직 철근비가 증가할수록 연성 및 변형성능이 저하되는 것을 알 수 있으며, 최소 수직 철근비에 가까운 0.2%의 수직철근비를 갖는 실험체는 압축력비가 10%까지는 연성적인 거동을 보이고, 20%이상에서는 UBC-97에서 제안하고 있는 변형성능을 만족하지 못하고 있음을 알 수 있다. 그러나 플랜지가 압축을 받는 경우에는 고축력하에서도 내력저하 없이 연성적인 거동을 보여주고 있다. 따라서 T형 벽체에서 우수한 변형성능을 확보하기 위해서는 압축력비를 10%이내에서 수직 철근비가 0.2%이하가 되도록 배근하는 것이 바람직할 것으로 판단되며, 그 이상의 내력을 확보하기 위해 더 많은 수직 철근비를 요구될 경우에는 횡 철근에 의한 횡구속 범위를 증가시켜야 할 것으로 판단된다.

표 1 일정 압축력과 수직철근비의 변화에 따른 단면해석 결과

axial load	vertical bar	V _y (tonf)	V _{max} (tonf)	Δ _y (mm)	* Δ _u (mm)	Δ _u (mm)	μ (Δ _u / Δ _y)	θ _u (%)	θ _y	ε _c			ε _s			N.A						
										δ _y	δ _s	δ _u	δ _y	δ _s	δ _u	δ _y	δ _s	δ _u				
0.06	f _c A _s	0.2%	+	25.9	32.9	46	176.8	176.8	38.4	9.82	1/391	0.0010	0.0034	0.0113	0.0018	0.0175	0.061	33.5	16.3	15.7		
		0.5%	+	33.9	45.3	48	101.4	117.9	24.6	6.55	1/375	0.0011	0.0033	0.020	0.0018	0.0124	0.051	36.0	20.0	27.5		
		1.0%	+	46.6	59.4	52	56.8	82.6	15.9	4.59	1/346	0.0013	0.0034	0.0180	0.0018	0.0094	0.0279	41.0	26.3	38.0		
		1.5%	+	62.2	71.3	62	35.6	67.9	10.9	3.77	1/290	0.0016	0.0032	0.0183	0.0021	0.0065	0.0194	42.3	31.3	47.3		
		2.5%	+	85.2	92.3	65	27.2	55.5	8.5	3.08	1/277	0.0019	0.0030	0.0181	0.0020	0.0039	0.0128	47.3	41.0	56.0		
		3.5%	+	107.0	117.5	69	14.2	50.3	7.29	2.79	1/261	0.0022	0.0032	0.0186	0.0019	0.0032	0.0094	51.4	58.5	64		
		0.2%	-	11.9	16.1	35	152.0	152.0	43.4	8.44	1/514	0.0003	0.0009	0.0019	0.0018	0.0166	0.0642	15	5.8	4.0		
		0.5%	-	14.6	23.2	36	153.3	153.3	42.6	8.52	1/500	0.0003	0.0010	0.0022	0.0018	0.0166	0.060	15	5.8	4.0		
		1.0%	-	19.2	34.9	36	154.6	154.6	42.9	8.59	1/500	0.0004	0.0012	0.0028	0.0018	0.0166	0.060	16.3	7.5	5.8		
		1.5%	-	23.7	45.5	36	158.2	158.2	43.9	8.79	1/500	0.0004	0.0013	0.0035	0.0018	0.0168	0.061	17.2	7.5	6.7		
		2.5%	-	32.6	66.7	37	163.2	163.2	44.1	9.07	1/486	0.0004	0.0015	0.0054	0.0018	0.0017	0.061	18.0	8.3	8.3		
		3.5%	-	41.5	87.1	37	166.6	166.6	44.8	9.20	1/486	0.0004	0.0017	0.0065	0.0018	0.0173	0.061	19.2	8.3	9.2		
		0.1	f _c A _s	0.2%	+	38.4	43.4	5.2	7.04	97.0	18.7	5.39	1/346	0.0013	0.0034	0.0193	0.0018	0.0107	0.0370	41	23.5	33.5
				0.5%	+	47.7	52.4	6.3	29.5	76.9	12.2	4.27	1/286	0.0016	0.0030	0.0066	0.0022	0.0073	0.0179	43.5	28.5	26
				1.0%	+	58.1	66.3	5.7	27.5	62.9	11.0	3.49	1/316	0.0016	0.0031	0.018	0.0018	0.0058	0.0169	46	33.5	49.8
1.5%	+			70.9	78.9	6.27	17.5	53.1	8.5	2.95	1/287	0.0018	0.0033	0.0194	0.0019	0.0049	0.0129	47.3	38.5	58.5		
2.5%	+			92.4	102.5	6.64	13.7	38.5	5.8	2.14	1/271	0.0021	0.0031	0.0185	0.0018	0.0031	0.0087	52.3	48.1	66		
3.5%	+			113.2	123.1	7.13	10.9	31.3	4.4	1.74	1/253	0.0024	0.0033	0.0206	0.0018	0.0026	0.0063	55.6	53.9	74.6		
0.2%	-			18.4	23.4	3.72	154.1	154.1	41.4	8.56	1/484	0.0004	0.0012	0.0025	0.0018	0.0167	0.0600	19	6.7	4.2		
0.5%	-			21	30.2	3.74	133.6	156.4	41.8	8.69	1/481	0.0004	0.0013	0.0030	0.0018	0.0168	0.0605	19	6.7	4.1		
1.0%	-			25.4	40.7	3.77	158.8	158.8	42.1	8.82	1/478	0.0004	0.0014	0.0039	0.0018	0.0169	0.0605	19	6.7	5.8		
1.5%	-			29.8	51.3	3.8	162.3	162.3	42.7	9.02	1/475	0.0005	0.0015	0.0047	0.0018	0.0171	0.0611	20.9	8.3	6.7		
2.5%	-			38.5	71.8	3.84	165.4	165.4	43.1	9.19	1/469	0.0005	0.0017	0.0064	0.0018	0.0173	0.0606	21.5	9.2	9.2		
3.5%	-			47.2	92.1	3.88	166.7	166.7	43.0	9.26	1/464	0.0005	0.0018	0.0174	0.0018	0.0173	0.0604	21.5	9.3	10.8		
0.2%	+			65.9	67	8.18	14.4	28.2	3.4	1.57	1/220	0.0025	0.0032	0.0171	0.0024	0.0037	0.0043	55.6	48.5	79.12		
0.5%	+			72.5	74	8.15	12.6	26.1	3.2	1.45	1/221	0.0026	0.0034	0.0182	0.0023	0.0036	0.0038	56	51	79.5		
1.0%	+			83.1	85.1	8.12	10.8	22.5	2.8	1.25	1/222	0.0027	0.0032	0.0185	0.002	0.0027	0.0034	57.2	54.7	81.6		
1.5%	+	92.5	95.2	8.09	10.8	20.8	2.6	1.16	1/223	0.0029	0.0033	0.0186	0.0020	0.0025	0.0032	58.5	57.2	82				
2.5%	+	109.2	112.9	8.06	10.7	19.0	2.4	1.06	1/223	0.0030	0.0037	0.0187	0.0018	0.0022	0.0030	61	61	83.5				
3.5%	+	122.6	126.9	8.04	9.04	19.0	2.4	1.06	1/224	0.0032	0.0039	0.0187	0.0017	0.0020	0.0029	63.5	63.5	83.5				
0.2%	-	33.1	39.2	4.17	68.4	163.2	39.1	9.07	1/432	0.0007	0.0019	0.0057	0.0018	0.0173	0.0604	26.5	9.2	9.2				
0.5%	-	35.6	44.5	4.17	76.9	164.7	39.5	9.15	1/432	0.0007	0.0019	0.0063	0.0018	0.0174	0.0606	26.5	9.2	9.2				
1.0%	-	39.7	53.5	4.19	166.7	166.7	39.8	9.26	1/430	0.0007	0.0020	0.0071	0.0018	0.0175	0.0606	27.9	8.3	9.3				
1.5%	-	43.9	63.5	4.20	167.5	167.5	39.9	9.31	1/429	0.0007	0.0021	0.0075	0.0018	0.0175	0.0605	27.9	9.3	10.8				
2.5%	-	52.2	83.8	4.21	168.8	168.8	40.1	9.38	1/428	0.0007	0.0022	0.0081	0.0018	0.0175	0.0603	27.9	10.8	11.8				
3.5%	-	60.5	104.0	4.23	169.1	169.1	40.0	9.39	1/426	0.0007	0.0022	0.0084	0.0018	0.0175	0.0602	28.4	10.9	11.8				
0.2%	+	80.8	82.5	4.4	6.93	11.7	2.7	0.65	1/409	0.0024	0.0035	0.0187	0.0002	0.0010	0.0009	86.3	74.6	91.7				
0.5%	+	81	85.7	4.00	6.98	11.7	2.9	0.65	1/450	0.0022	0.0035	0.0187	0.0002	0.0010	0.0010	88.2	74.6	91.7				
1.0%	+	81	91	3.61	7.06	11.8	3.3	0.66	1/499	0.0020	0.0035	0.0187	0.0001	0.0011	0.0011	89.2	74.6	90.8				
1.5%	+	84.4	96.3	3.65	7.13	11.9	3.3	0.66	1/493	0.0020	0.0036	0.0187	0.0002	0.0011	0.0012	89.2	74.6	90.8				
2.5%	+	94.3	106.9	4.21	7.26	12.1	2.9	0.67	1/428	0.0022	0.0037	0.0187	0.0003	0.0011	0.0014	86.5	74.6	89.1				
3.5%	+	101.1	117.4	4.29	7.36	13.8	3.2	0.99	1/420	0.0021	0.0037	0.0187	0.0004	0.0011	0.0015	84.3	75.8	89.1				
0.2%	-	53.5	60.3	4.85	32.6	48.4	10.0	2.69	1/371	0.0011	0.0026	0.0040	0.0018	0.0150	0.0254	36.5	14.3	13.7				
0.5%	-	55.8	64.4	4.84	34.1	54.9	11.3	3.05	1/372	0.0011	0.0026	0.0046	0.0018	0.0156	0.0287	36.5	14.3	13.7				
1.0%	-	59.7	71.5	4.81	37.9	67.5	14.0	3.75	1/374	0.0011	0.0026	0.0059	0.0018	0.0154	0.0351	36.5	14.3	14.3				
1.5%	-	63.6	78.7	4.8	46.7	78.1	16.3	4.34	1/375	0.0011	0.0027	0.0070	0.0018	0.0156	0.0404	36.5	14.3	14.3				
2.5%	-	71.4	93.8	4.77	57.4	98.0	20.5	5.44	1/378	0.0011	0.0028	0.0091	0.0018	0.0164	0.0505	35.4	14.3	14.3				
3.5%	-	79.4	113.8	4.74	104.4	109.5	23.1	66.08	1/380	0.0010	0.0027	0.0211	0.0018	0.0152	0.0455	35.4	14.3	30.1				

V_{cr}: initial crack load, V_y: yield strength, V_{max}: maximum strength, Δ_y: displacement corresponding to the V_y, Δ_u: displacement corresponding to the V_{max}, Δ_u*: displacement corresponding to the 0.80 V_{max}, μ: displacement ductility ratio, θ_u: deformation capacity(Δ_u / h_w), δ_y: yield state, δ_s: serviceability limit state, δ_u: ultimate limit state, N.A: neutral axis

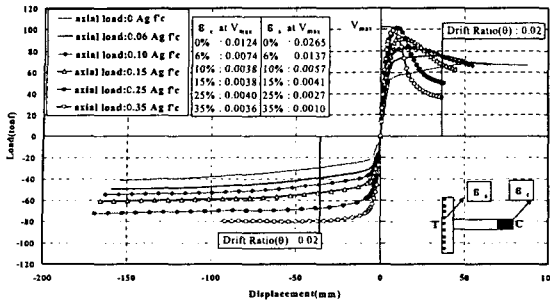


그림 1 일정 축하중 변화에 따른 하중-변위 곡선 비교

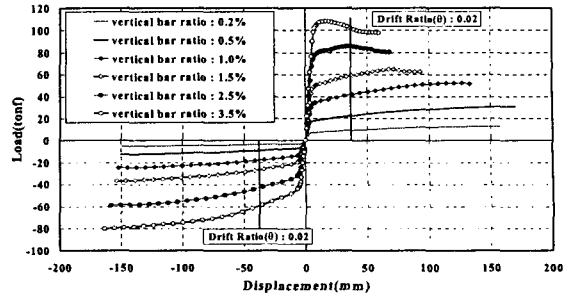


그림 2 (a) 축하중비 0% 일때

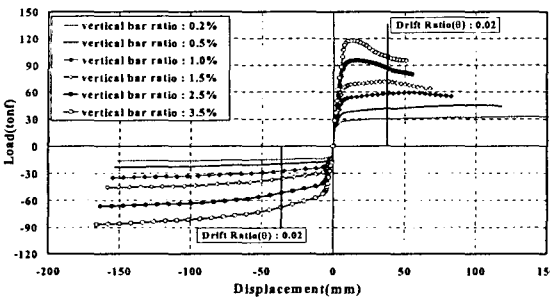


그림 2 (b) 축하중비 6% 일때

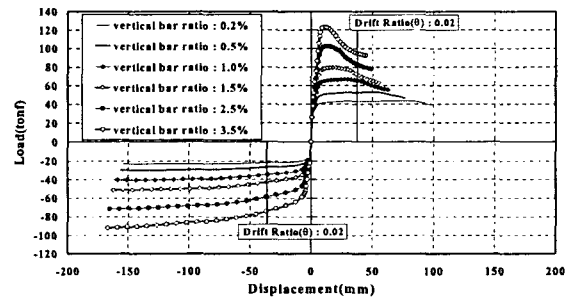


그림 2 (c) 축하중비 10% 일때

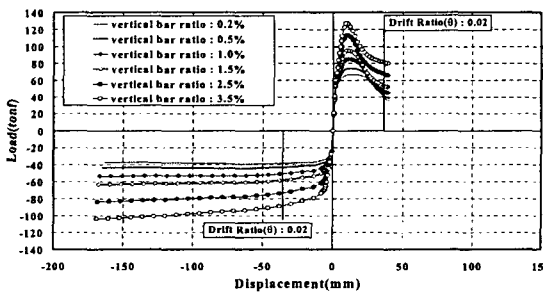


그림 2 (d) 축하중비 20% 일때

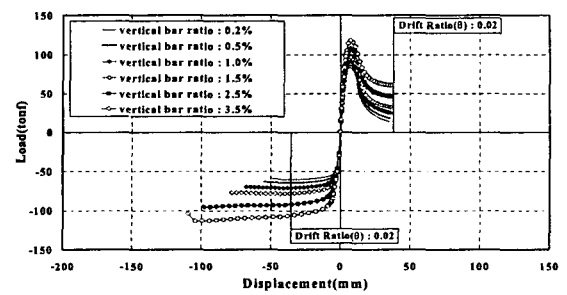


그림 2 (e) 축하중비 35% 일때

2.2 수직 철근비

일정 압축력비를 6%하에서 수직 철근비를 변화시켜 수직 철근비 변화에 따른 하중-변위 관계를 그림 3에 나타내었으며, 이에 따른 횡 철근 구속범위를 그림 4에 나타내었다. 그림 3에서와 같이, 수직 철근비가 증가할수록 정가력(복부 압축)과 부가력(플랜지 압축) 모두 최대내력이 증가하고 있음을 알 수 있다. 그러나 정가력시 수직 철근비가 증가할수록 극한 변형율이 감소되고, 수직 철근비가 2.5%와 3.5%인 경우에는 변형성능이 2%를 미치지 못하고 있음을 알 수 있다. 또한, 정가력시 압축 변형율이 0.003을 초과하는 부분을 횡 철근으로 구속했을 때, 수직 철근비를 0.2%~3.5%까지 변화시키기에 따라 횡 구속이 필요한 구속범위는 벽체 길이의 $0.1 l_w \sim 0.55 l_w$ 까지 큰 폭으로 변하고 있음을 알 수 있다. 그러나 플랜지가 압축을 받는 부가력시에는 중립축이 플랜지 내에 존재하고 있으며, 수직 철근비 변화함에 따라 중립축 변화는 큰 변화를 나타내지 않고 있다. 따라서, 복부 단부와 플랜지 단부에서의 횡 구속은 T형 벽체의 단면형상과 철근비등에 따라 다르게 적용해야 할 것으로 판단된다. 그림 5는 수직 철근비를 0.2%~3.5%까지 증가 시켰을 때 일정 압축력비 변화에 따른 하중-변위 관계를 비교한

것이다. 그림에서 보는 바와 같이 동일한 수직 철근비에서 복부가 압축을 받는 경우에는 압축력비가 증가할수록 연성 및 변형능력이 저하되는 것을 알 수 있다. 수직 철근비가 1.0% 이하에서는 압축력비를 10%미만으로 작용하고, 수직 철근비가 1.5% 이상에서는 압축력을 가하지 않거나 5%미만으로 작용했을 때 기준에서 요구하는 변형성능을 만족하게 됨을 알 수 있다. 또한, 복부가 압축을 받는 경우 수직 철근비가 2.5% 이상일 때는 내력에 영향을 받지 않는 것으로 나타났다. 그림 5(e)와 (f)에서 나타난 바와 같이 무축력하에서 수직 철근비가 2.5% 인 경우에는 2% 이상의 변형성능을 보이는 반면, 3.5% 인 경우에는 연성이 확보되지 않아 무축력하에서 연성을 확보할 수 있는 최대 철근비는 2.5% 정도가 적당한 것으로 나타났다. 그러나 플랜지가 압축을 받는 경우에는 모두 연성적인 거동을 보이고 있다.

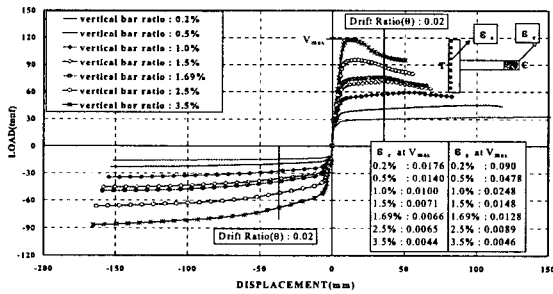


그림 3 수직 철근비 변화에 따른 하중-변위 곡선 비교

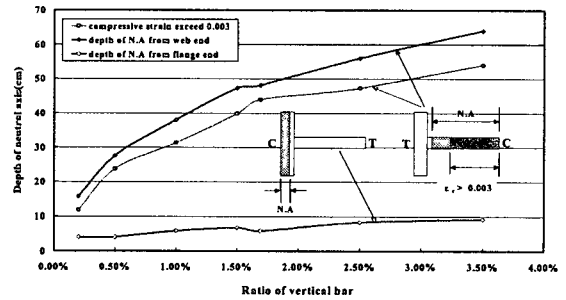


그림 4 수직 철근비 변화에 따른 휨구속 범위

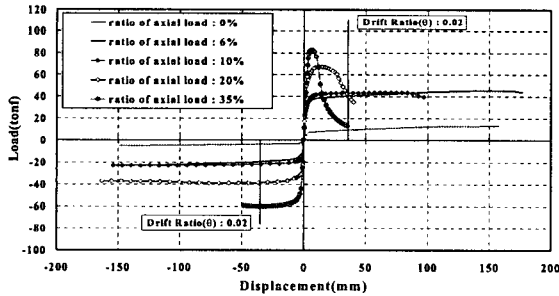


그림 5 (a) 수직 철근비 0.2% 일 때

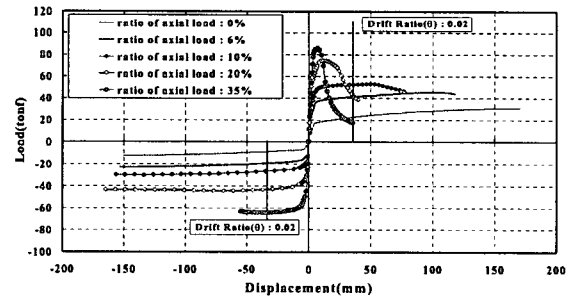


그림 5 (b) 수직 철근비 0.5% 일 때

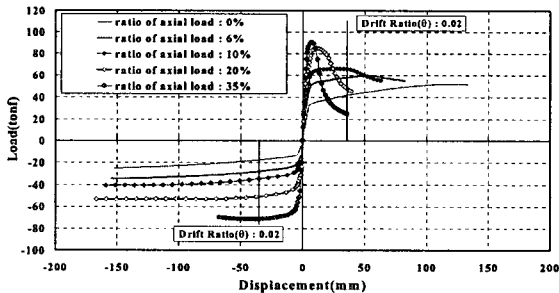


그림 5 (c) 수직 철근비 1.0% 일 때

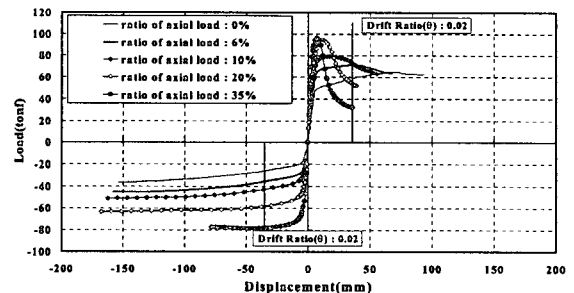


그림 5 (d) 수직 철근비 1.5% 일 때

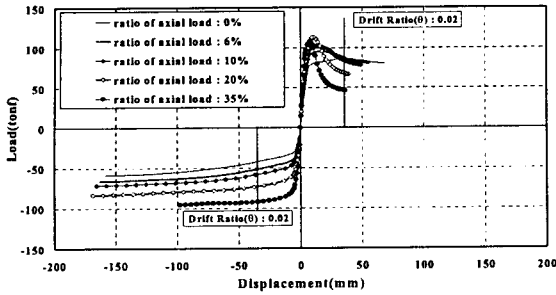


그림 5. (e) 수직 철근비 2.5% 일때

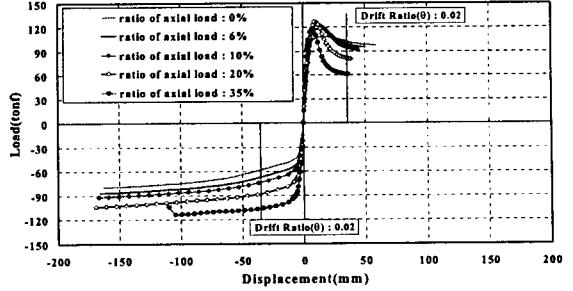


그림 5. (f) 수직 철근비 3.5% 일때

3. 결론

압축력비와 수직철근비에 따른 T형 벽체의 구조성능을 파악하기 위해 단면해석에 의한 해석적 연구로부터 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 압축력비를 0%~35%까지 증가시켰을 때 수직 철근비가 높을수록 정가력과 부가력 모두 내력이 증가되었다. 그러나 동일한 축하중하에서 복부가 압축을 받는 경우에는 수직 철근비가 증가할수록 연성 및 변형성능이 저하되는 것으로 나타났다.
- 2) 복부가 압축을 받는 경우 최소 철근비에 가까운 0.2%의 수직 철근비를 갖는 실험체는 압축력비가 10%까지는 연성적인 거동을 보이며, 압축력비가 20% 이상에서는 수직 철근비에 관계없이 모두 2%의 변형성능을 만족하지 못하였다. 따라서 T형 벽체에서 우수한 변형성능을 확보하기 위해 압축력비를 10%이내에서 수직 철근비를 0.2%이하가 되도록 배근하는 것이 바람직할 것으로 판단된다.
- 3) 복부가 압축을 받는 경우, 동일한 수직 철근비에서 압축력비가 증가할수록 연성 및 변형성능은 감소하는 것으로 나타났다. 또한 수직 철근비가 2.5% 이상일 때는 축하중비에 많은 영향을 받지 않는 것으로 나타났으며, 축력이 작용하기 않을 때 수직 철근비가 2.5%인 경우에는 연성적인 거동을 보이는 반면, 3.5%인 경우에는 연성이 확보되지 않아 무축력하에서 연성이 확보할 수 있는 최대 철근비는 2.5%가 적당한 것으로 판단된다.
- 4) 압축력비가 6% 일 때 수직 철근비를 0.2%~3.5%까지 변화시켰을 때, 복부가 압축을 받는 경우, 횡구속이 필요한 구속 범위는 복부 길이의 $0.1 l_w \sim 0.55 l_w$ 까지 큰 폭으로 변하고 있음(그림 6참조.)을 알 수 있다. 그러나 플랜지가 압축을 받는 부가력시에는 중립축이 플랜지 내에 존재하며, 수직 철근비가 변화함에 따른 중립축 변화는 작은 것으로 나타났다.

참고문헌

1. ACI Committee 318, "Building Code Requirements for Structural Concrete(318-99) and Commentary (318-99)", 1999.
2. International Conference on Building Officials, Uniform Building Code, Whittier, California, 1999.
3. 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.
4. C. Chadwel, "UCFYBER : Cross Section Analysis Software for Structural Engineers," University of California, Berkeley, 1999.
5. J. B. Mander, M.J.N. Priestley, "Theoretical Stress-Strain Model for Confined Concrete", Journal of Structural Engineering, Vol. 114, No. 8, August, 1988, pp.1804~1826.