인장철근영역 콘크리트 다짐불량에 따른 철근콘크리트 보의 거동

An Experimental Study on The Behavior of Reinforced Concrete Beams with Poor-Compacted Concrete in Tensile Steel Zone

박 훈 규* 안 영 기** 장 일 영*** 박 병 희****

Park, Hoon-Gyu An, Young-Ki Jang, Il-Young Park, Byung-Hee

Abstract

There is possibility of poor-state concrete filling condition due to segregation of aggregate and paste in reinforced concrete structure. This study was conducted to evaluate the flexural and shear behavior of reinforced concrete beams with different concrete filling conditions. Different concrete filling conditions were intentionally made such that the specimens was soundly cast to obtain the perfect concrete filling condition and cast in such a way that up to the longitudinal tensile reinforcement from the top, good concrete was filled while poor concrete was poured for the bottom part to simulate the poor strength, workability and unsatisfactory compaction. The test results indicate that have no effect of concrete filling conditions on the yielding strength of structures. But, have a great influence on the flexural ductility and shear capacity of structures.

요 지

철근콘크리트 구조물에서 배근상태에 따라서는 다짐불량에 의한 재료분리 및 골재폐쇄현상이 발생하여 채움이 제대로 되지 않는 경우가 발생할 수 있다. 본 연구에서는 그 영향을 충분히 고려하지 않고 있는 재료분리에 따른 중립축이하 인장부 콘크리트가 보부재 거동에 미치는 영향 파악을 위한 실험을 수행하여, 보부재의 인장 철근영역 콘크리트의 유효성 파악을 위한 연구를 수행하였다. 실험결과 인장철근영역 콘크리트의 재료분리에 따른 거동은 부재항복강도에는 미치는 영향이 없으나, 부재 휨연성, 전단저항능력을 저하시키는 것으로 나타났다.

Keywords : Flexural and Shear behavior, Reinforced concrete beam, Segregation

핵심 용어 : 휨 및 전단거동, 철근콘크리트 보, 재료분리

* 정회원, (재)한국건설품질연구원 진단2팀장, 공학박사

** 정회원, (재)한국건설품질연구원 대표, 공학박사

*** 정회원, 금오공과대학교 토목공학과 교수, 공학박사

**** 금오공과대학교 토목공학과 박사수료, 국방시설본부장, 육군소장

E-mail : hgpark@kcqr.co.kr 010-3229-5907

• 본 논문에 대한 토의를 2008년 2월 28일까지 학회로 보내주시면 2008년 5월호에 토론결과를 게재하겠습니다.

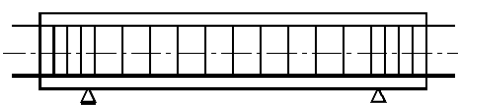
1. 서 론

최근 초고층화 및 특수화 경향에 의한 고밀도 배근 구조물의 증가현상, 구조물의 대형화 추세 및 콘크리트 펌프공법 발달 등으로 콘크리트 공사 중 대규모 치기가 많이 이루어지고 있다. 그러나 실제 구조물의 종류 및 부위형태에 따라서는 채움 상태를 매번 확인할 수 없으며, 현장의 여러 가지 환경, 기후 변화 및 배근상태에 따라서는 재료분리 및 골재폐쇄현상이 발생하여 채움이 제대로 되지 않는 경우가 발생할 수 있다.[1]

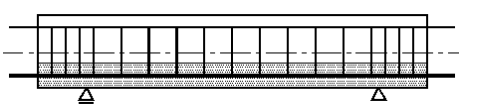
본 연구에서는 충분하게 다짐이 되지 못하거나 골재폐쇄현상으로 인해 인장철근 영역에 재료분리가 발생한 철근콘크리트 구조물의 강도 및 연성거동에 관한 실험적 연구를 수행하였다. 즉, 실제로 발생할 수 있는 대표적인 형태의 채움 불량에 따른 재료분리 상태 및 채움 양호상태를 가상하여 제작한 보부재 실험체에 대한 휨재하 실험을 통하여 채움 상황별 거동을 분석하였다. 또한 본 연구는 일반적으로 구조설계나 해석시 무시되고 있거나 그 영향을 충분히 고려하지 않고 있는 중립축이하 인장부 콘크리트가 보부재 거동에 미치는 영향 추정을 위한 기초 자료가 될 수 있을 것으로 판단된다.

2. 실험개요

본 연구에서는 철근콘크리트 보에서의 인장철근 영역 콘크리트 재료분리에 따른 구조물의 휨강도 및 연성거동을 실험적으로 검토하고자 보의 중립축 이하 인장철근 영역에서 철근과 콘크리트 사이의 부착력을 달리한 가상의 보부재 실험체를 제작하였으며, 재하실험을 통하여 거동을 조사·분석하였다.



(a) 다짐 양호-GF실험체



(b) 인장철근영역 다짐 불량-NFT실험체

Fig. 1 콘크리트 채움 상태

철근의 부착력이 전혀 없는 보는 비현실적이므로 본 연구에서는 거푸집제작 및 철근조립 후 인장철근을 상부로 뒤집은 거푸집에 양호한 콘크리트를 치고, 그 상부 인장철근 영역에 다짐불량 콘크리트를 이어치기로

Table 1 실험체 상세

순번	실험체명	f_c MPa	단면 (b×d) ㎝	a/d	채움조건	인장철근		$\frac{\rho_t}{\rho_b}$	스터럽				
						No.	ρ_t %		No.	s ㎝	ρ_w %	$\frac{\rho_w}{\rho_{w,ACI}}$	Shape
1	4GF0	40	14×21	2.5	GF	2D19	1.952	0.526	-	0	0	0	□
2	4NFT0				NFT	2D19	1.952	0.526					□
3	4GF5				GF	2D19	1.952	0.526	D10	5	2.043	2.10	□
4	4NFT5				NFT	2D19	1.952	0.526					□
5	4GF7				GF	2D19	1.952	0.526		7	1.459	1.50	□
6	4NFT7				NFT	2D19	1.952	0.526					□
7	4GF10				GF	2D19	1.952	0.526		10	1.021	1.05	□
8	4NFT10				NFT	2D19	1.952	0.526					□
9	4GF10U				GF	2D19	1.952	0.526					∪
10	4GF10(B)				GF	2D22	2.633	0.709					□
11	4GF15	40			GF	2D19	1.952	0.526		15	0.681	0.70	□
12	4NFT15				NFT	2D19	1.952	0.526					□
13	4GF15U				GF	2D19	1.952	0.526					∪
14	4GF15(B)				GF	2D22	2.633	0.709					□
15	4GF20	40			GF	2D19	1.952	0.526		20	0.511	0.53	□
16	4NFT20				NFT	2D19	1.952	0.526					□
17	4GF5-4			4.0	GF	2D19	1.952	0.526		5	2.043	2.10	□
18	4GF10-4				GF	2D19	1.952	0.526		10	1.021	1.05	□
19	4NFT10-4				NFT	2D19	1.952	0.526					□
20	4GF10-4(B)				GF	2D22	2.633	0.709					□
21	4NFT10-4(B)				NFT	2D22	2.633	0.709					□

시공하여 인장철근영역의 부착력을 현저히 감소시킨 NFT sereis 실험체를 제작하였으며, 채움 및 다짐 상태가 양호한 GF series와의 비교실험을 수행하였다. 전체적인 실험체 상세는 Table 1 및 Fig. 1에 나타내었다.

본 연구에서는 실제로 다짐불량으로 인한 재료분리가 발생하여 인장철근 주변에 골재만 남아 압축강도 측정용 코아채취가 불가능한 슬래브[2] 보 등의 구조체 거동을 최대한 반영할 수 있는 조건을 모사하기 위하여, 다짐불량 콘크리트는 특정 목표강도를 설정하지 않고 임의로 배합수를 다량 투입하여 골재와 시멘트사이 재료분리 및 부착력이 현저히 감소할 수 있도록 배합하였다.

제 강도특성은 보 실험체 치기와 동시에 콘크리트 시료를 각 3개씩 채취·제작하여 KS기준에 따라 시험하였으며, 압축강도 및 할렬강도는 φ10㎝×20㎝의 원주 공시체를, 휨인장강도는 15㎝×15㎝×55㎝의 각주 공시체를 사용하였고, 부착강도는 15㎝×15㎝×15㎝의 공시체에 D19철근을 매입한 것을 사용하였다.

Table 2에 GF 실험체들에 사용된 콘크리트와 NFT 실험체들에 사용된 다짐불량 콘크리트에 대한 제 강도특성(압축강도(f_c), 휨인장강도(f_r), 할렬인장강도(f_t) 및 부착강도(τ_{max}) 각 3개 공시체의 평균값)을 비교하여 나타내었다.

Table 2 콘크리트 제강도 특성

구 분(Type)	f_c (MPa)	f_r (MPa)	f_t (MPa)	τ_{max} - Slip (MPa - ㎜)
다짐양호 시험체	40.0	3.7	4.9	7.5 - 0.030
재료분리 시험체	9.8	1.2	3.5	3.6 - 0.265

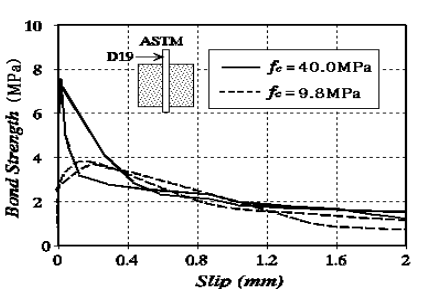


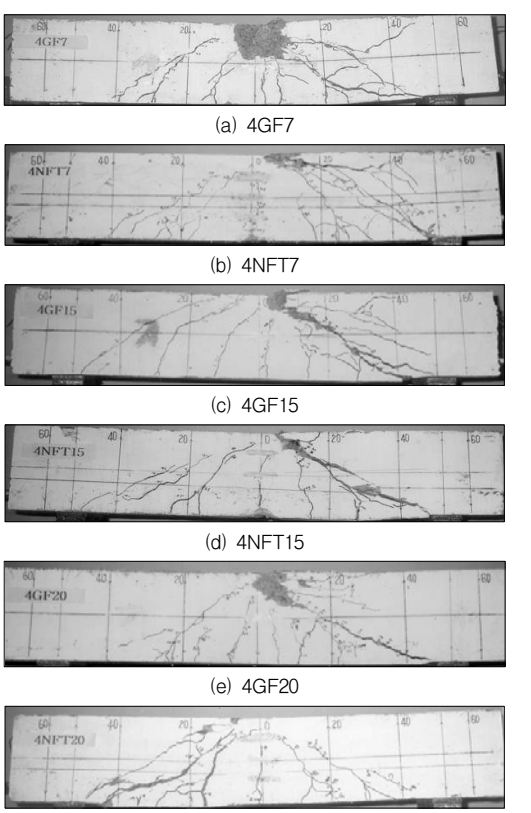
Fig. 2 부착시험 결과

압축강도 40.0MPa의 경우 양호한 강도특성을 나타내고 있으나, 재료분리가 발생한 다짐불량 콘크리트의 경우 압축강도 9.8MPa을 나타내는 등 매우 낮은 강도특성을 나타내고 있다. 다짐불량 콘크리트의 평균 최대부착강도는 3.6MPa정도로 나타났으나, 슬립량은 압축강도 40.0MPa의 경우에 비해 8.8배정도 큰 0.265mm로 측정되어 사용성 측면에서 실제적 부착강도 특성은 매우 낮은 것으로 평가된다.

3. 실험결과 및 분석

3.1 균열진전 파괴양상

하중은 중앙부 1점 재하 하였으며, 최종 파괴시 균열발생상황을 Fig. 3에 나타내었다.



(a) 4GF7
(b) 4NFT7
(c) 4GF15
(d) 4NFT15
(e) 4GF20
(f) 4NFT20
Fig. 3 균열진전 및 파괴양상

4GF5와 4GF7과 같이 충분히 전단보강된 부재는 초기 휨균열이 거의 압축측 상단까지 진전되어 넓은 영역의 압축부 파괴와 함께 전형적인 휨파괴양상을 보인 반면에, 그 외 대부분의 GF 실험체는 지점으로부터 약 1.0d(보의 유효높이)만큼 떨어진 지점에서 휨균열이 발생하였으며, 이 지점에서 발생한 사인장균열은 하중이 증가함에 따라 재하점 방향으로 약 45°의 경사로 진전됨과 동시에 부착력이 손실되어 전단-인장파괴되는 양상을 보였다. 인장철근영역에 불량의 콘크리트를 친 NFT 실험체는 지점으로부터 약 1.1~1.9d까지 인장철근을 따라 부착파괴가 발생하였다. 이것은 인장철근 하부에서 발생한 인장응력이 원활한 궤적곡선을 그리지 못하고 콘크리트 강도 차이에 의해 수평 분산된 것으로 보이며, 인장철근 상부에서 발생한 인장응력에 의해 급경사의 사인장균열이 진전되며 파괴되었다. 또한 파괴면이 매우 거칠고, 지점부에서 거의 부착파괴와 인장파괴로 인해 조각난 형태를 보였다.

대체적으로 하중증가시 다짐양호(GF 실험체)일 때는 균열의 진행이 중립축까지 계속적으로 이어지나, 인장철근 영역 다짐불량 실험체(NFT 실험체)에서는 초기균열은 일찍 발생하지만, 하중증가에도 불구하고 균열의 진척이 인장철근부를 따라 수평으로 진전되는 경향을 보였다. 이러한 콘크리트 강도차로 인한 응력의 수평분산은 균열의 진행을 일시적으로 멈추게 하는 효과가 있으며, 전체적인 부재강도를 다소 증진시키는 것으로 판단된다. 그러나 최대강도 도달 후 급작스러운 인장철근부의 부착할렬파괴로 인하여 다짐양호 실험체보다 큰 연성효과는 기대하기 어려운 것으로 보인다.

3.2 하중-처짐 거동

GF 실험체와 NFT 실험체에 대한 하중-처짐 실험결과를 Fig. 4와 Fig. 5에서 비교하였으며, 하중-처짐 결과로부터 부재의 휨 및 전단거동 특성을 평가하기 위한 주요계수 값을 산정하여 Table 3에 비교하여 나타내었다. 여기서 부재 강성평가는 항복하중을 항복변위로 나눈 항복강성(P_y/δ_y)을 취하였다.

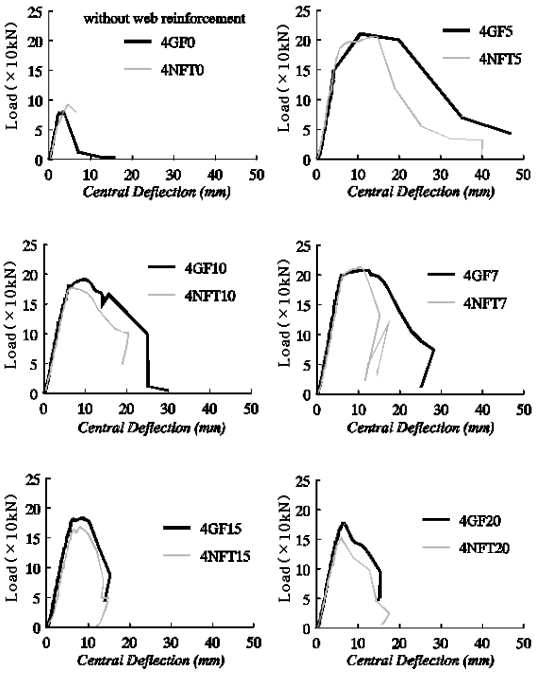


Fig. 4 스터럽 간격 및 콘크리트 채움 상태에 따른 하중-처짐 거동

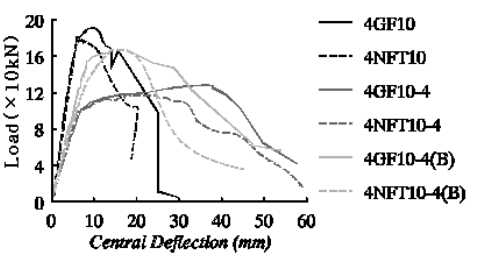


Fig. 5 콘크리트 채움 상태에 따른 하중-처짐 거동 특성

각 실험체에 대한 하중-처짐 거동에서 알 수 있듯이 전반적으로 인장철근영역 다짐불량상태인 NFT 실험체가 GF 실험체에 비해서 60%~98%정도 낮은 강성을 나타내고 있으며, 최대강도도 약간 작게 나타나고 있다. 이러한 양상은 특히 전단파괴 거동을 보인 a/d=2.5, 스터럽 간격 10㎝이상의 부재에서 더욱 두드러지게 차이가 나는 것을 알 수 있다.

이러한 부재 강성의 차이는 철근과 콘크리트 사이 부착특성에 의한 인장강성효과 감소가 주원인으로 부재 강성 및 처짐에 의한 초기 사용성능에 영향을 주는

Table 3 콘크리트 채움 상태에 따른 보의 거동 실험결과 및 분석

	Beam ID.	$\frac{P_y}{\delta_y}$	★	$\frac{\delta_u}{\delta_y}$	★	Shear strength (×10kN)			$\frac{V_u}{V_c}$	★	$\rho_w f_{wy}$ (MPa)	K		v	
						V_c	V_{max}	V_u*				at V_{max}	at V_u	at V_{max}	at V_c
GF series	4GF0	3.38		1.60		3.98	3.98	3.98	1		0	0	0	0.066	0.066
	4GF5	3.69		5.83		3.98	10.60	8.48	2.13		8.171	107.9	108.9	0.228	0.176
	4GF7	3.35		3.07		3.98	10.40	8.32	2.09		5.834	109.9	87.4	0.223	0.181
	4GF10	3.07		3.20		3.98	9.58	7.66	1.93		4.086	137.1	89.0	0.194	0.161
	4GF15	3.01		1.98		3.98	9.16	7.33	1.84		2.724	190.2	123.2	0.195	0.145
	4GF20	2.80		1.69		3.98	8.90	7.12	1.79		2.043	283.4	207.7	0.163	0.131
	4GF10-4	1.21		4.84											
	4GF10-4(B)	1.89		3.76											
NFT series	4NFT0	2.01	0.60	1.00	0.63	4.68	4.68	4.68	1	1	0	0	0	0.071	0.066
	4NFT5	3.40	0.92	3.01	0.52	4.68	10.34	8.27	1.77	0.83	8.171	185.8	164.1	0.198	0.156
	4NFT7	3.28	0.98	2.19	0.71	4.68	10.79	8.63	1.84	0.88	5.834	125.2	118.6	0.221	0.172
	4NFT10	2.98	0.97	2.25	0.70	4.68	8.90	7.12	1.90	0.99	4.086	110.1	85.8	0.181	0.143
	4NFT15	2.63	0.87	1.93	0.98	4.68	8.44	6.75	1.80	0.98	2.724	178.1	154.2	0.158	0.124
	4NFT20	2.67	0.95	1.55	0.92	4.68	7.62	6.10	1.63	0.91	2.043	271.8	97.2	0.170	0.114
	4NFT10-4	1.25	1.03	4.10	0.85										
	4NFT10-4(B)	1.41	0.75	2.16	0.58										

★ NFT series / GF series
* V_u=최대 전단강도 이후 파괴시 전단강도(≒ 0.8Vmax)
K, v =전단거동에서의 스터럽 및 콘크리트 유호계수

것을 알 수 있다.

각 부재의 하중-처짐 거동과 Table 3의 비교결과에서 알 수 있듯이 인장철근영역 콘크리트 다짐상태가 구조거동에 미치는 가장 큰 영향은 연성효과임을 확인할 수 있다. 특히 인장철근비가 높은(ρ_t/ρ_b=0.71, a/d=4) 4NFT10-4(B) 실험체는 4GF10-4(B) 실험체에 비해 연성지수가 매우 낮은 취성파괴에 가까운 거동을 나타내고 있다.

위 실험결과는, 지진영역 구조물의 최소연성지수 4이상[5]의 연성능력을 발휘하며 휨 파괴양상을 보인 4GF5실험체에 비해 동일한 조건에서 인장철근영역 불량 콘크리트인 부재는 휨강성(P_y/δ_y)은 0.92로 큰 차이가 없으나, 휨연성(δ_u/δ_y)은 0.52로 감소하여, 인장철근 영역 콘크리트가 부재 휨연성에 영향을 미치므로 콘크리트와 인장철근의 부착특성으로 인한 휨내력과 변형저항 능력을 무시할 경우 실제 휨연성능력을 과소평가할 가능성이 있다는 것을 의미하는 것이다.

3.3 인장철근 및 스터럽 변형률 특성

재하하중 증가에 따른 인장철근의 변형률 분포를 측정하기 위하여 재하지점과 재하지점 좌우 15㎝, 35㎝, 55㎝ 되는 곳의 인장철근에 스트레인 게이지를 부착하여 하중 단계별의 변형률 값을 측정하였으며, Fig. 6과 Fig. 7에 GF 실험체와 NFT 실험체에서 측정한 인장철근 변형률 분포를 나타내었다.

인장철근의 변형률 특성을 살펴보면, 다짐상태가 양호하여 철근과 콘크리트 사이 부착성능이 뛰어난 GF 실험체에서는 부재 항복시의 변형률 분포가 안정적이다. 즉 인장철근이 전반적으로 항복상태가 된 후에 점차적인 인장경화상태로 바뀌는 것이 관찰되었다.

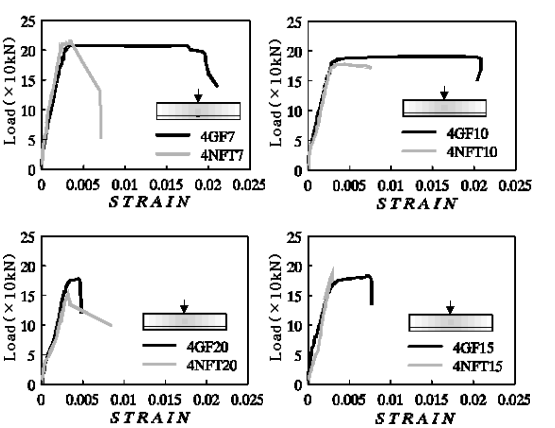


Fig. 6 하중-인장철근 변형률 관계(a/d=2.5)

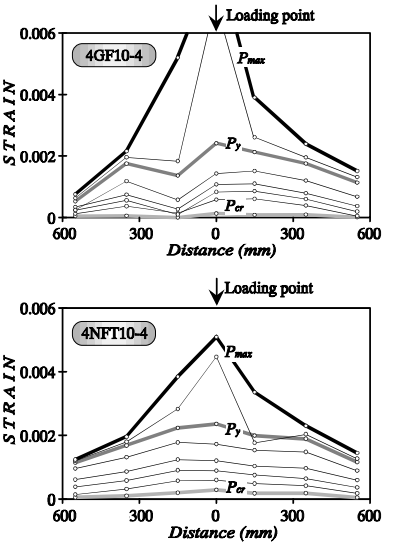


Fig. 7 하중-인장철근 변형률 관계(a/d=4.0)

반면 인장철근영역 다짐불량상태의 NFT 실험체의 경우에는 부재 항복시 인장철근 방향의 할렬파괴가 발생하여, 철근 인장경화현상이 부분적으로 먼저 발생하며, 이 원인으로 최대강도가 일찍 발현하는 경우도 발생하지만, GF 실험체보다 먼저 하강부가 나타나기 시작하였다. 또한 NFT 실험체의 경우에는 인장철근 영역에서의 균열분산효과가 적으므로 균열간격이 넓고 균열폭이 매우 커진다. 따라서 균열발생 단면의 철근 항복 및 경화현상이 집중적으로 발생하여 불규칙한 변형률 특성을 나타내고 있다.

전단지간이 짧은(a/d=2.5) 실험체에서는 D10 이형철근으로 제작한 스터럽의 변형률을 측정하기 위하여 사인장 균열발생이 예상되는 위치(약 지점으로부터 d)의 스터럽 중간부분에 게이지를 부착하여 각 하중단계별로 측정하였으며 GF 실험체와 NFT 실험체 실험체에서는 측정된 하중-스터럽 변형률 관계를 Fig.8에 나타내었다.

Fig. 8에 나타낸 것과 같이 전단철근의 변형률은 사인장균열 이전에는 거의 나타나지 않고, 사인장균열 이후에 급격하게 증가하였다. 또한 다짐상태가 양호한 GF 실험체에서의 전단철근 변형이 더욱 큰 것으로 보아 인장철근영역 콘크리트와 스터럽 사이의 전단전달 능력이 부재 전체 거동에 영향을 미침을 알 수 있으

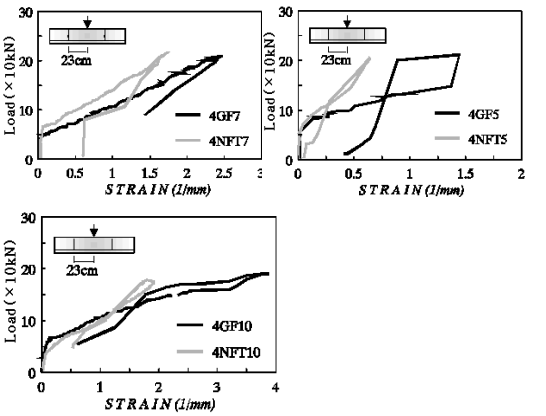


Fig. 8 GF 및 NFT 실험체의 하중-스터럽 변형률 관계 (a/d=2.5)

며, 다짐상태에 따라 전단철근의 전단보강효과가 달라짐을 확인 할 수 있다.

3.4 전단거동 특성

3.4.1 보유전단내력

철근 콘크리트 보에서 보유전단내력이란 처음 사인장균열이 발생하였을 때 전단에 의한 취성파괴를 어느 정도 연장해 주는가 하는 능력을 표현하는 것이며, 이러한 보유전단내력을 극한전단강도 V_u와 처음 사인장균열을 야기한 전단강도 V_c의 차이($V_u - V_c$)로써 양적인 개념으로 정의된다. 이러한 값은 사인장균열 발생시부터 종국파괴시까지 보에 남아있는 전단강도를 정량적으로 추정하는 값이며 V_u / V_c의 무차원 값으로 표시되기도 한다.[3]

콘크리트 압축강도 40.0MPa, a/d=2.5인 GF 실험체와 NFT 실험체에 대한 보유전단내력을 Table 3에 나타내었다.

Table 3에서 V_c는 전단보강근이 없는 4GF0와 4NFT0실험체의 전단강도를 이용하였다. Table 3에서 알 수 있듯이 전단철근 및 콘크리트 자체에 의한 전체 보유전단내력지수(V_u / V_c)는 충분히 전단보강된 경우 전단보강근이 없는 경우에 비해 약 1.5~2배정도 증가함을 알 수 있다. 이는 전단철근이 보강됨으로써 여러 가지 전단 메커니즘의 상승효과를 주기 때문이며,

따라서 콘크리트의 다짐상태에 관계없이 적절한 전단보강은 전단연성의 확보와 유리한 전단 메커니즘으로의 유도를 가능하게 함을 알 수 있다.

보유전단내력은 NFT 실험체에 비해 다짐이 양호한 GF 실험체가 2~20% 더 큰 것으로 나타났으며, 스터럽 보강량이 많을수록 GF 실험체와 NFT 실험체 사이의 전단보유내력이 더 큰 차이가 난다는 것을 알 수 있다. 따라서 동일한 조건하에서 전단에 대한 보강을 충분히 한 부재라 할지라도 인장철근영역 다짐상황이 불량한 부재의 경우에는 소요의 전단 메커니즘 확보를 기대하기 어렵다는 것을 알 수 있다.

3.4.2 스터럽 및 콘크리트 유효계수

스터럽(전단보강근)은 전단파괴에서 휨파괴로 유도하는 연성거동에 중요한 역할을 담당하는데, 일반적으로 스터럽 공칭강도($\rho_w f_{wy}$)가 증가함에 따라 보의 전단강도 증가율이 크게 나타나며, 스터럽의 효과는 고강도 콘크리트일수록 더 유효한 것으로 알려져 있다.

스터럽이 배근된 보의 전단내력은 스터럽 유효계수 K를 도입하여 식(1)과 같이 나타낼 수 있으며, 윤영수 등의 연구에서 K값은 콘크리트 압축강도 증가에 따라 증가하는 것으로 나타났다.[3]

$$V_n = V_c + K\rho_w f_{wy} bd \quad (1)$$

한편 보부재에서 콘크리트가 분담하는 전단력은 트러스 작용과 아치작용을 근거로 한 다음의 New-RC 극한 전단강도 지침식으로부터 비교적 간단히 검토해 볼 수 있다.[4]

식(2)에서 콘크리트 압축 사재의 파괴는 작용하는 압축강도가 νf_c일 때 발생하는 것으로 가정된다. 순수 휨이 아닌 전단력의 작용을 받는 실험체의 거동이 식(2)의 트러스작용과 아치작용을 따른다고 가정할 경우, 부재에서 콘크리트가 분담하는 전단력은 식(2)의 콘크리트 유효계수 ν로 평가할 수 있다.

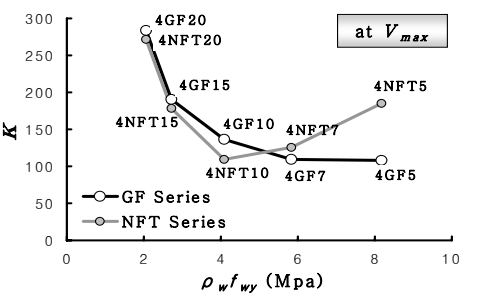
$$V_n = \underbrace{bj\rho_w f_{wy}\cot\phi}_{\text{truss mechanism}} + \underbrace{\alpha(1-\beta)bd\nu f_c}_{\text{arch mechanism}} \quad (2)$$

식(1)과 식(2)에서 V_n은 실험으로부터 구한 부재 최대하중시의 전단력 $V_{\max}$이며, 전단보강된 보에서 콘크리트가 분담하는 전단강도 V_c는 스터럽이 배근되지 않은 보(4GF0, 4NFT0)의 전단강도를 기준으로 산정할 수 있다. GF 실험체와 NFT 실험체에 대한 실험결과로부터 구한 스터럽 유효계수 K와 콘크리트 유효계수 ν값을 Table 3에 정리하였다.

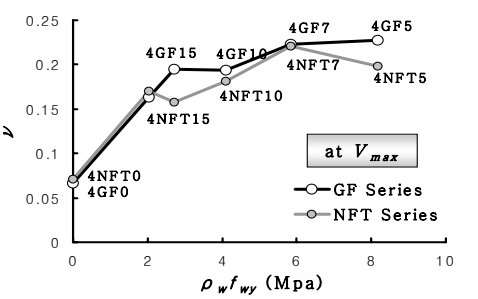
f_{wy}는 실험을 통해 얻은 최대하중시의 스터럽 변형률에 대한 실제응력(f_{ws})을 적용하였으며, 콘크리트 압축 사재 경사각 ϕ는 45°로 가정하였다.

GF 실험체와 NFT 실험체에서 계산된 K와 ν값을 비교하여 Fig. 9에 나타내었다.

Fig. 9(a)와 (b)에서 계산된 K와 ν값을 비교해보면 ν값이 완만히 감소할수록 K값이 급격히 증가하는 양



(a) K vs. $\rho_w f_{wy}$



(b) ν vs. $\rho_w f_{wy}$

Fig. 9 K-$\rho_w f_{wy}$ 및 ν-$\rho_w f_{wy}$ 관계
(GF 및 NFT 실험체)

상을 볼 수 있는데, 이것은 식(1)에서와 같이 동일한 전단보유내력($V_{\max} - V_c$)하에서 실제로 측정된 스터럽에 발생하는 응력(f_{ws})이 작을수록 K값이 증가하므로 공칭 스터럽강도, 즉 스터럽 간격비(s/d)가 큰 부재일수록 콘크리트와 스터럽 사이의 전단저항력 전달능력이 현저히 감소한다는 것으로 해석할 수 있다.

Fig. 9(a)의 GF 실험체에서 측정된 K값은 전단보강량 증가, 즉 스터럽 간격비 s/d가 작을수록 충분한 전단보강으로 인하여 전단보강근이 효율적으로 전단지간내 복부에 발생하는 사인장력을 억제하여 휨 파괴로 유도되는 양상을 잘 보여준다. 반면에 NFT 실험체는 규칙적인 양상을 보이지 않는다.

NFT 실험체들 중 4NFT7 실험체(s/d=0.33)와 4NFT5 실험체(s/d=0.24)는 동일한 전단보강을 한 4GF7과 4GF5 실험체에 비해 K값이 더 크게 나타났다. 특히 $\rho_w/\rho_{w,ACI}$=150 및 210%의 충분한 전단보강으로 인하여 휨파괴 양상을 보인 4GF5 실험체에 비해 인장철근부 부착파괴와 사인장에 의한 전단파괴양상을 보인 4NFT5 실험체의 K값이 72%정도 크다는 것을 알 수 있다. 이것은 전단보강이 충분하지 못하여 전단보강근에 의한 휨파괴로의 유도가 이루어지지 못할 경우에는 GF 실험체나 NFT 실험체에서의 전단에 대한 스터럽 유효성은 큰 차이가 없으나, 충분히 전단보강된 경우에는 GF 실험체에 비해 NFT 실험체는 충분한 전단보강효과를 발휘하지 못함을 의미한다. 이러한 현상은 전단에 대한 콘크리트 유효성을 나타낸 Fig. 9(b)의 비교에서도 알 수 있다.

New-RC[4]의 연구에서 ν값은 $3.68/(f_c/10)^{(1/3)}$에서 $[3.68/(f_c/10)^{(1/3)}]/4$의 범위 내에서 부재 변형량에 따라 감소하는 것으로 표현되는데, 콘크리트 압축강도 40MPa에서는 0.5~0.13정도이다.

본 연구의 실험결과를 토대로 산정한 ν값은 Fig. 9(b)에서와 같이 공칭 스터럽 강도 증가에 따라 증가하며 전단보강된 부재에서 ν=0.15~0.23정도로 산정되었다. Fig. 9(b)에서 충분히 전단보강된 4GF5 실험체에 비해 4NFT5 실험체에서의 ν값이 약20% 더 낮다는 것을 알 수 있는데 이것은 인장철근영역 불량 콘크리트를 포함한 부재는 콘크리트에 의한 스터럽으로의 전단력 전달능력이 현저히 감소하여 Fig. 9(a)에서와 같이 스터럽이 충분히 제 능력을 발휘하기 전에 휨에서 전단파괴로의 전환이 이루어진다고 말할 수 있다.

4. 결 론

인장철근영역 다짐불량 콘크리트가 발생한 보부재의 휨거동에 미치는 영향을 휨재하실험을 통하여 분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 인장철근 영역 콘크리트와 인장철근의 부착특성으로 인한 휨내력과 변형저항 능력을 무시할 경우 실제 휨연성능력을 과소평가될 수 있다.
2) 인장철근영역 콘크리트 상태가 구조거동에 미치는 가장 큰 영향은 휨연성효과이고, 인장철근영역 다짐불량 콘크리트인 부재는 사인장균열을 동반하는 취성파괴가 발생할 가능성이 있다.
3) 본 실험에서는 다짐상태에 따라 스터럽 유효계수 K는 최대 72%, 콘크리트 유효계수 ν값은 최대 20%차이가 나는 것으로 나타나, 인장철근 영역 다짐상태에 따라서 인장철근영역 콘크리트와 스터럽 사이의 전단전달능력이 부재 전체 거동에 영향을 미침을 확인하였다.

참고문헌

1. 윤영수, 신성우, 장일영, “국내의 고성능 콘크리트에 대한 최근의 연구동향”, 한국콘크리트학회지, 제7권 5호, 1995. 10, pp. 51-57.
2. 서울특별시 중구청, “청계천 복개구조물 정밀안전진단 및 실시설계”, 1998. 4.
3. 윤영수, “철근 콘크리트 보의 고강도화에 따른 전단거동에 관한 연구”, 한국콘크리트학회 논문집, 제6권 6호, 1994, pp. 193-194.
4. 國土開發技術研究ヒンター, “平成4年度構造性能分科會報告書”, (財)國土開發技術研究ヒンター, 1993.
5. MacGregor, J. G., “Ductility of Structural Elements, Handbook of Concrete Engineering”, 1st Ed., Van Nostrand Reinho1d. 1989.

(접수일자 : 2007년 2월 8일)