

전단철근에 의한 휨 구속 효과

김 병 호* · 은 희 창** · 서 일 교**

Effects of Flexural Confinement by Shear Reinforcements

Byung-Ho Kim*, Hee-Chang Eun** and Ill-Gyo Suh**

ABSTRACT

The objective of this study is to present a design method of over-reinforced concrete beam confined by shear reinforcements. Fourteen reinforced concrete beams were tested with the variables of the amount of longitudinal bars, the spacing of shear reinforcements, and the shear-span ratio. It was observed that the confinement of core concrete by shear reinforcements led to the enhanced flexural capacity and ductility. Comparing the experimental and analytical results and grasping the confinement effects of shear reinforcements, this paper illustrated the validity of designing over-reinforced concrete beam.

Key words : Shear reinforcements, shear-span ratio, core concrete, plastic rotational capacity

1. 서 론

전단철근은 부재의 전단력을 부담하여 전단내력을 증진시키고, 주철근의 위치를 고정시키는 외에 휨에 대하여 연성을 개선시켜 소성 한지의 회전 능력을 크게 향상시킬 수 있다. 콘크리트의 외면을 철근에 의해 구속시킨 콘크리트는 내력과 연성을 증진시킨다. 이러한 현상은 전단철근으로 보강된 철근콘크리트 보의 압축 영역에서도 관찰되며, 연성은 증진되나, 피복의 박리 및 압축영역의 감소로 휨 내력은 좀처럼 개선되지 않는다.

전단철근이 휨에 미치는 영향에 관한 연구로, Base와 Read¹⁾는 압축측 콘크리트를 나선철근으로 보강하여 휨 거동을 파악하였으며, 과대철근 보의 소성 회전 능력을 파악하였다. Surendra²⁾ 등은 과대철근 보에서 압축철근, 전단철근, 강섬유에 따른 연성의 증진 정도를 실험적으로 비교하였다. Krauthammer³⁾ 등은 과소 및 과대철근 보에서 전단철근이 휨 내력에 미치는 영향을 파악하였다. Hansen과 Tomaszewicz⁴⁾는 전단철근에 의한 압축측 콘크리트를 구속하여 고강도 콘크리트 보의 휨 연성을 개선시킬 수 있음을 보였다. Ziara^{5), 6)} 등은 전단철근에 의한 휨 내력 및 연성의 개선을 파악하여 그 설계 방안을 제시하였다. Pendyala⁷⁾ 등은 철근콘크리트 보에서 전단철근을 배근함으로써 소성 회전 능력을 증진시킬 수 있음을 보였다. Mansur⁸⁾ 등은 구속된 콘크리트의 응력-변형률 관계로부터 과대철근 보의 휨 거동 해석을 실시하였

* 제주대학교 산업대학원

Graduate School of Industry, Cheju Nat'l Univ.

** 제주대학교 건축공학과, 산업기술연구소

Dept. of Archi. Engineering, Res. Insti. Ind. Tech., Cheju Nat'l Univ.

다. 그러나 이들 연구 결과들이나 구속된 콘크리트에 관한 연구 결과들에 의하면 구속된 콘크리트의 역학적인 거동에 영향을 미치는 다양한 요인들로 인하여 명확한 관계가 설정되지 않았으므로 이들에 대한 보다 광범위한 연구의 필요성이 있다.

따라서, 본 연구에서는 과대철근 보의 설계 방안을 제시하는데 주목적이 있다. 주철근비, 전단철근의 배근 간격, 전단 경간비를 실험 변수로 실험을 행하였으며, 이론 해석을 병행하여 과대 철근으로 배근된 철근콘크리트 보에서의 역학적인 거동을 파악하였으며, 전단철근에 의한 구속 효과 및 연성의 개선 정도를 평가한다.

II. 실험

2.1 시험체 계획

순 휨 구간내에서 전단철근에 의한 압축측 콘크리트의 구속 효과를 파악하기 위하여 본 연구에서는 전단철근의 배근 간격, 전단경간비, 그리고 주철근비를 변수로 Table 1에서와 같이 총 14개의 시험체를 제작하였다. 2점 재하에 의한 순수 휨 영역을 실험구간으로 이 구간에 전단철근을 배근하였으며, 전단경간비는 2.5와 3.7로 하였다. Fig. 1은 시험체의 배근형상을 나타내고 있다.

공시체에 의한 4주 압축강도는 235kgf/cm²을 보였다. 사용 철근은 주철근비를 고려하여 D13~D22를 변화시켜 사용하였으며 전단철근은 D10을, 전단철근의 위치 고정을 위해 압축철근은 $\phi 8$ 을 사용하였다. 전단경간 구간에서는 극한강도 기준에서 제한하고 있는 최대 전단철근 간격(본 시험체인 경우 9.47cm)을 넘지 않도록 모든 시험체에서 10cm로 동일하게 배근하였다. 사용된 철근의 역학적인 특성을 Table 2에 나타내었다.

2.2 가력 및 측정 방법

가력은 변위 제어에 의하였으며, 급격한 내력 저하가 일어나거나 파괴정도가 너무 심하여 더 이상 하중

Table 1. Summary of specimens

specimens	f_y (kgf/cm ²)	ρ	ρ_s	ω
U10-3.7	4.960	0.007 (3-D13)	0.014	0.147
B10-3.7			0.014	0.448
B5.5-3.7			0.026	0.448
B5.5-2.5			0.26	0.335
B3.5-3.7	4.710	0.022 (4-D19)	0.041	0.448
B3.5-2.5			0.041	0.293
O10-3.7			0.014	0.530
O5.5-3.7	4.710	0.026 (2-D19, 2-D22)	0.026	0.530
O5.5-2.5			0.026	0.396
O3.5-3.7			0.041	0.530
O3.5-2.5			0.041	0.346
MO10-3.7	4.540	0.03 (4-D22)	0.014	0.610
MO5.5-3.7			0.026	0.610
MO3.5-3.7			0.041	0.610

$$\rho : \text{주철근비, } \rho_b = 0.85 \beta_1 \frac{f_{ck}}{f_y} \left(\frac{6,000}{6,000 + f_y} \right).$$

$$\rho_s : \text{전단철근 체적비, } \omega = \frac{\rho' f_y}{f_{ck}}$$

B10-3.7

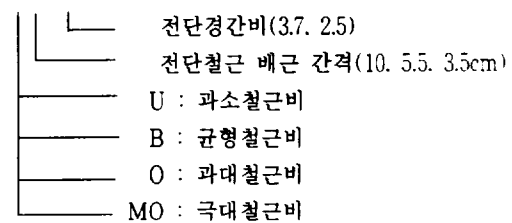
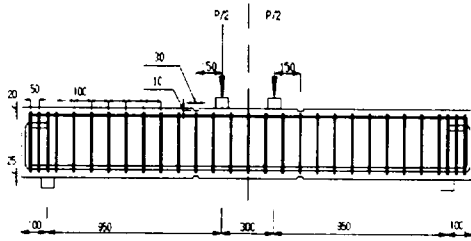


Table 2. Mechanical properties of steels

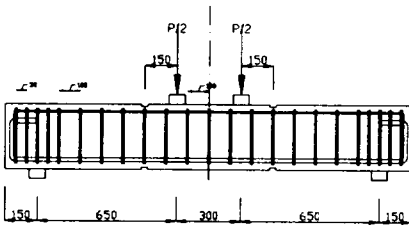
bar	yield strength (kgf/cm ²)	strain at yield(%)	Young's modulus (kgf/cm ²)
D10	4.070	0.199	2.04 × 10 ⁶
D13	4.970	0.252	1.95 × 10 ⁶
D19	4.650	0.243	1.6 × 10 ⁶
D22	4.570	0.235	1.62 × 10 ⁶
$\phi 8$	3.120	0.170	1.83 × 10 ⁶

가력이 불가능하다고 판단 될 때까지 가력하였다. 하중은 프레임에 부착된 로드 셀에 의해 측정하였다. 코어 콘크리트의 연단변형률을 측정하기 위하여 압축

III. 실험 결과 및 분석



a) a/d=3.7



b) a/d=2.5

Fig. 1. Details of specimen(unit = mm).

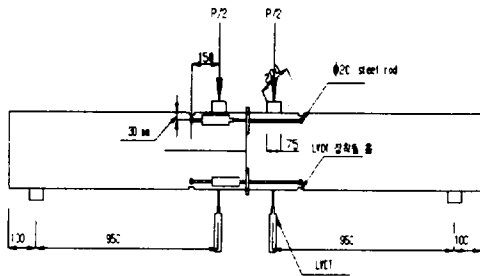


Fig. 2. Loading and measurement equipment (unit = mm).

측 전단철근 하부에 매립용 콘크리트 게이지를 부착하였다. 휨공간내에 압축측 콘크리트 구속의 효과와 전단경간내에 전단의 영향을 파악하기 위하여 최대 휨 내력구간의 압축측과 사인장 균열이 예상되는 구간에 배근된 전단철근에 스트레인 게이지를 각각 부착하였다. 그리고, 압축측 피복콘크리트의 박리와 주철근의 거동을 파악하기 위하여 임계단면에 스트레인 게이지를 부착하였다. 시험체의 처짐 및 곡률을 측정하고자 Fig. 2에서 보는 바와 같이 L.V.D.T.를 설치하였으며, 이들을 데이터 로거에 연결시켜 일정한 시간 간격으로 하중, 변형률 및 변위를 측정하였다.

Fig. 3에 구속된 과대철근 보의 전형적인 하중-변위 관계를 나타내었다. 구속된 과대철근 보의 연성을 평가하기 위해 본 연구에서는 변위 연성비율 식(1)을 이용하여 구하였다. 일반적으로 과대철근 보에서 인장 주철근은 압축측 피복 콘크리트 박리 이후에 항복에 도달하므로 극한강도 설계기준인 압축 연단변형률이 0.003 또는 주철근의 항복 중에 먼저 발생하는 시점을 항복 변위로 하였다.

$$\mu_d = \frac{\Delta_u}{\Delta_y} \quad (1)$$

여기에서, Δ_u : max1 또는 max2에서의 변위

Δ_y : 주철근의 항복시 또는 콘크리트 압축 연단변형률이 0.003일 때의 변위

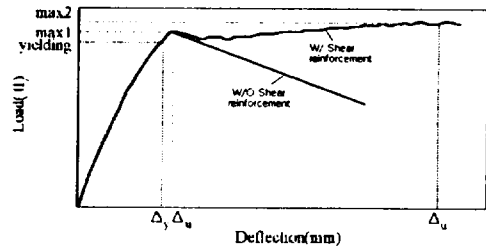


Fig. 3. Typical load and deflection curve of over-reinforced concrete beam.

각 시험체에 대한 실험 결과를 Table 3에 요약하였다. 과소철근비로 배근된 U10-3.7은 주철근이 항복한 후에 철근의 경화 현상으로 최대 휨 내력이 증가하며, 균형철근비 이상으로 배근된 시험체는 압축측 콘크리트의 압괴 이후에 전단철근에 의해 영향을 받을 수 있다. 즉, 전단철근이 10cm 간격으로 배근된 시험체에서는 주철근이 항복시의 휨내력과 최대 내력 사이에 차이를 거의 볼 수 없으며, MO10-3.7은 주철근의 항복 이전에 최대 휨내력에 달한 것을 알 수 있다. 그러나 전단철근의 간격이 감소함에 따라 구속에 의한 압축측 콘크리트의 강도증가 및 주철근의 경화 현상에 의해 항복 후에 휨 내력의 증가를 보

Table 3. Summary of test results

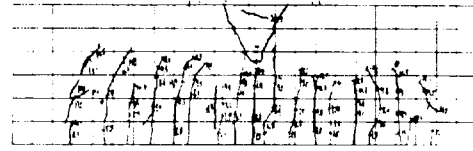
specimens	Moment at yielding M_y (tf · m)	M_{max} (tf · m)			Disp. ductility ratio (μ_d)
		Analy.	Exp.	Exp./Anal.	
U10-3.7	4.4	4.98	4.99	1.00	6.04
B10-3.7	10.1	9.96	10.4	1.04	1.59
B5.5-3.7	10.4	10.32	10.7	1.04	3.19
B5.5-2.5	10.6	10.32	11.2	1.08	5.1
B3.5-3.7	10.4	11.27	11.4	1.01	5.6
B3.5-2.5	11.1	11.27	12.2	1.08	5.93
O10-3.7	12.0	11.44	12.1	1.06	1.42
O5.5-3.7	11.4	11.44	11.8	1.03	1.48
O5.5-2.5	12.2	11.44	12.8	1.12	1.39
O3.5-3.7	11.2	12.1	12.6	1.04	5.26
O3.5-2.5	11.4	12.1	13.4	1.11	5.9
MO10-3.7	-	10.98	12.4	1.13	1.18
MO-5.5-3.7	11.7	12.3	12.9	1.05	1.3
MO3.5-3.7	12.4	13.1	13.3	1.01	5.1

이고 있다. 전단철근의 구속으로 인한 휨 내력의 뚜렷한 증가는 거의 보이지 않고 있지만 최대 내력 이후 뚜렷한 연성의 증가를 보이고 있다.

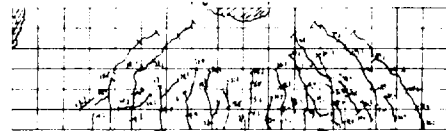
3.1 파괴 양상

주철근이 과소 철근으로 배근되고 전단철근이 10cm간격으로 배근된 시험체 U10-3.7은 초기 휨 균열이 발생한 후, 균열들이 양쪽 지지점과 단면의 상부로 점차 진행되며 주철근이 항복한 후에 궁극적으로 휨 파괴되었다. 균형 철근비로 배근된 B시리즈의 시험체는 과소 철근 배근된 시험체와 유사하게 초기 휨 균열이 발생하고 이들 균열들이 양단부와 단면의 압축측으로 점차 확대되었으며, 휨 전단 균열을 관찰할 수 있었다. 그리고 압축측 콘크리트의 압괴로부터 전단철근에 의해 구속된 코어 콘크리트 부분을 제외한 피복의 박리가 점점 인장측으로 확대됨을 볼 수 있었다.

이외에 과대 배근된 O, MO시리즈의 시험체의 경우에도 전단철근은 휨 내력에 영향을 미치지 못하였다. 그러나 전단철근의 배근은 압축측 콘크리트의 압



a) B10-3.7 specimen



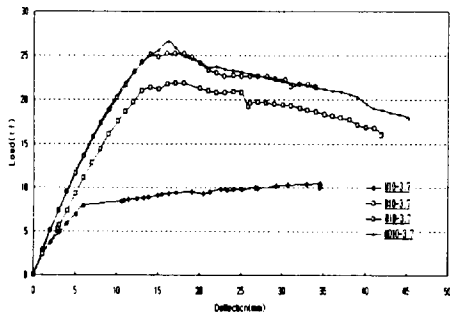
b) O3.5-2.5 specimen

Fig. 4. Crack distribution.

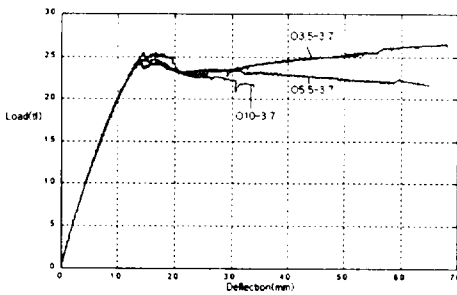
괴 및 피복의 박리에도 불구하고 구속된 콘크리트에 의해 연성이 확보되었으며, 전단철근의 배근 간격이 감소함에 따라 이러한 현상이 보다 현격하게 나타날 수 있었다.

시험체의 균열 진전상황 및 파괴 양상을 Fig. 4에 나타내고 있다. Fig. 4a)는 전단경간비가 3.7인 시험체의 균열 양상을 나타내고 있다. 과대철근 보일수록 동일 하중에서 증립축 깊이가 크며 피복 콘크리트 박리 부위가 작았다. 이는 과대철근에 의한 배근으로 압축 영역이 증가하나 콘크리트의 압괴 및 박리를 야기하는 압축 응력의 영역은 상대적으로 감소하기 때문이라 사료된다. Fig. 4b)는 전단경간비가 2.5인 시험체로서 하중의 증가와 함께 휨 전단균열이 가력점을 향해 진전되며 전단철근의 균열 진전 억제 및 웨브 콘크리트의 트러스 작용에 의해 전단 내력이 유지되는 양상을 보이고 있다. 또한, 전단경간이 작을수록 균열간격이 좁게 발생하고 있다.

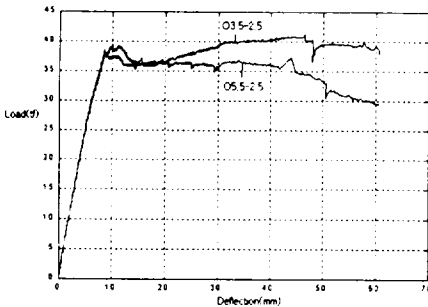
Fig. 5에 각 시험체의 하중과 처짐 관계를 나타내었다. 이들 그림에서 볼 수 있는 바와 같이 압축측 피복 콘크리트의 박리 이후 급격한 내력저하가 발생하지만 전단철근 간격이 좁은 시험체에서 압축측 콘크리트의 구속에 의한 내력 및 연성증진과 주철근의 경화현상으로 인해 다시 내력이 상승하는 경향을 보이고 있다. 그러나 전단경간비가 2.5인 시험체에서는 전단 균열의 진전에 따라 국부적인 내력의 저하를 볼 수 있으나, 궁극적으로 주철근에 의해 내력 및 연성이 유지됨을 볼 수 있다.



a) 10cm spacing specimens



b) O-3.7 series



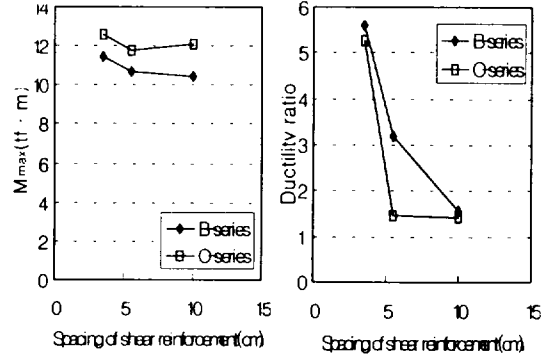
c) O-2.5 series

Fig. 5. Load-deflection curve.

3.2 전단철근의 영향

3.2.1. 휨 내력

Fig. 6a)에 전단철근의 배근 간격에 따른 휨 내력을 나타내고 있다. 최대 휨 내력은 주철근 양이 많을수록 증가하며, 그리고 최대 휨 내력은 전단철근 간격의 영향은 거의 받지 않지만 전단철근이 3.5cm로



a) Flexural capacity b) Displacement ductility ratio

Fig. 6. Effects of shear reinforcement spacing. (a/d = 3.7)

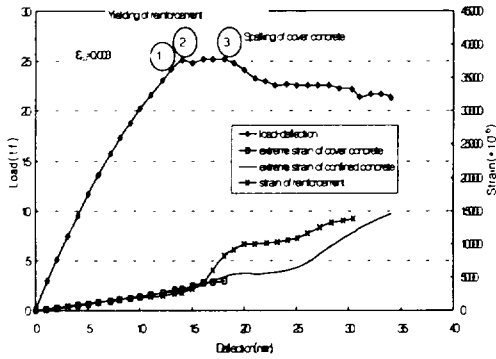
배근된 시험체는 압축축 피복 콘크리트 박리이후 구속의 영향으로 휨 내력 상승효과를 보여주고 있다.

3.2.2. 휨 연성

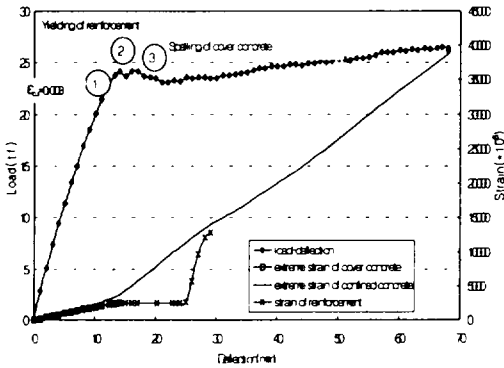
Fig. 6b)에 전단철근 간격과 휨 연성의 관계를 나타내었다. 일반적으로 과대철근 보일수록 휨에 저항하는 중립축이상의 압축 영역이 증가되어 주철근이 항복에 도달하기 이전에 압축축 콘크리트의 압괴에 의해 취성적인 파괴 거동을 보인다. 이 그림에서 주철근 양이 많을수록 연성은 저하하며 전단철근 간격이 좁을수록 휨 연성은 증가하는 경향을 보이고 있다. 특히, 과대철근 보인 경우 과소철근 보만큼의 휨 연성을 확보하기 위해서는 전단철근 간격을 $D/8$ ($\approx 3.5\text{cm}$) 이하로 배근할 필요가 있다고 사료된다. Fig. 6으로부터 전단철근으로 충분히 구속할 경우 과대철근 보로 설계하여 휨 내력과 연성을 모두 높일 수 있다고 사료된다.

3.3 주철근 및 구속된 콘크리트의 거동

Fig. 7에 구속된 과대철근 보의 하중-처짐 관계와 구속된 코아 콘크리트 및 주철근의 거동을 나타내었다. 모든 시험체에서 압축축 피복 콘크리트 박리 전까지는 피복콘크리트와 코아 콘크리트는 거의 비슷한 거동을 보인다. 그러나, 피복 콘크리트 박리 시점부터 코아 콘크리트는 구속에 의한 내력증진을 보이고 있다.



a) O10-3.7 specimen



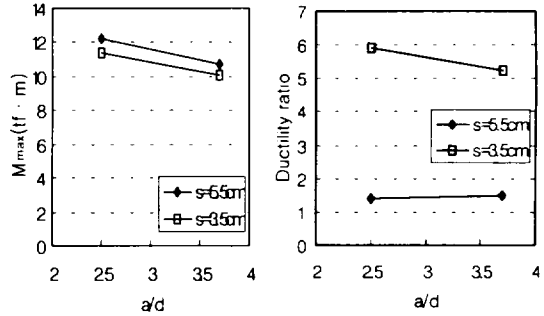
b) O3.5-3.7 specimen

Fig. 7. Load- deflection and -strain curves.

O10-3.7과 O3.5-3.7 시험체에서는 주철근의 항복직 후 압축측 피복 콘크리트 박리가 발생하고 있으나 보다 과대철근 보인 경우 주철근의 항복은 피복 콘크리트 박리 이후 큰 처짐 상태에서 발생하는 것을 관찰할 수 있었다. 그러나 모든 시험체에서는 피복의 박리 이후에도 코어 콘크리트에 의해 계속 내력을 유지하는 것을 확인하였다.

3.4 전단경간비(a/d)의 영향

Fig. 8에 O 시리즈의 시험체에 대해 전단경간비와 최대 휨 내력 및 연성의 관계를 나타내었다. 전단경간비가 2.5인 보의 최대 휨 내력은 3.7인 보에 비해 약 14%정도 크게 나타나고 있다. 이는 주철근의 항복이후 가력점과 지지점 사이에 배근된 전단철근과



a) Flexural capacity b) Displacement ductility ratio

Fig. 8. Effects of a/d(O series).

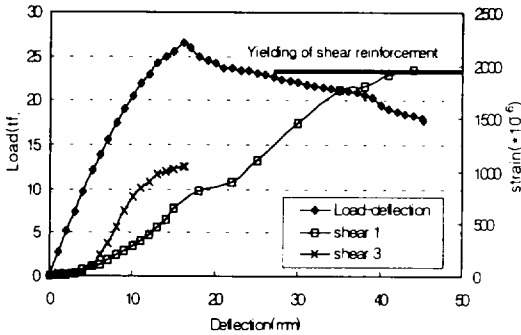
콘크리트의 전단 저항으로 휨 전단 균열이 억제되고 웨브 콘크리트의 아치작용에 의한 하중전달능력이 크기 때문이라 사료된다.

Fig. 8b)에서 전단철근 간격이 5.5cm에서는 전단경간에 관계없이 연성을 확보하지 못하였지만 3.5cm로 배근된 시험체에서는 변위 연성비 5이상을 확보하였다. 그리고, 전단철근 간격이 3.5cm로 배근되고 전단경간비가 3.7인 보에서 연성이 작게 나타나고 있지만, 이들 시험체는 실험 종료시 까지 내력저하가 발생하지 않았으며 하중을 더 가하였다면 전단 경간비가 2.5인 시험체보다 더 큰 변위 연성비를 나타냈을 것이라고 사료된다. 그러므로, 과대 철근콘크리트 보의 설계시에 휨과 전단의 상관 관계를 고려하여 전단철근을 적절히 배근할 경우 웨브의 전단내력 향상 및 압축 콘크리트의 내력증가로 인한 휨 연성을 확보할 수 있을 것이라 사료된다.

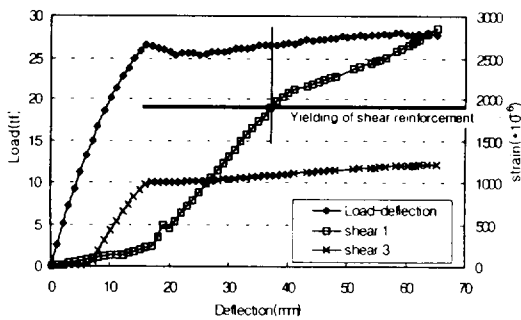
3.5 전단철근의 거동

전단철근이 콘크리트 구속에 미치는 영향을 측정하고자 휨 영역인 경간 중앙부의 전단철근에 스트레인 게이지를 부착하였다. 그리고, 가력점과 지지점을 연결하는 선과 교차하는 위치 및 사인장 균열이 예측되는 전단 경간에 여러개의 스트레인 게이지를 부착하여 전단철근으로서의 역할을 파악하였다. 즉, 휨 지배 영역에서는 Shear 1과 2를 휨과 전단을 받는 단부에는 Shear 3을 각각 부착하였다.

Fig. 9는 과대철근 보에서 하중의 증가와 함께 전



a) MO10-3.7 specimen



b) MO3.5-3.7 specimen

Fig. 9. Behavior of shear reinforcement.

단철근이 각 위치에서의 거동을 나타내었다. 여러 개의 스트레인 게이지 중 가장 크게 거동하는 게이지의 값을 나타내었다.

MO10-3.7 시험체인 경우 실험종료시 까지 경간중앙부의 전단철근은 항복하지 않았지만 MO3.5-3.7 시험체인 경우 압축축 파복 콘크리트 박리와 함께 급격히 응력이 발휘되며 항복에 이르렀다. 이는 휨 영역 내에 전단철근을 조밀하게 배근함으로써 콘크리트의 구속 효과를 증대시킬 수 있음을 의미한다. 또한, 휨 영역과 전단경간에 배근된 전단철근의 역할을 비교한다면 휨 영역의 전단철근이 보다 큰 변형을 나타내는 것으로 보아 전단경간에서 전단내력 보강 보다 휨에 대한 역할을 크게 하고 있음을 알 수 있다.

3.6 구속된 과대 철근 보의 설계 방법

구속된 철근 콘크리트 보의 휨 거동을 이론적으로

파악하기 위해서는 구속된 콘크리트, 무근 콘크리트 및 주철근의 응력-변형률 관계가 필요하다. 본 연구에서는 구속된 콘크리트의 응력-변형률 관계는 기존의 연구들 중 정 현수 등¹¹⁾의 모델을, 무근 콘크리트는 Hognestad⁹⁾의 모델을 주철근에 대해서는 Park¹⁰⁾의 제안식을 각각 이용하였다. 변형률은 0.003 등이다. 각 변형단계에서 중립축의 위치 결정은 힘의 평형조건과 수치해석적 방법(Bi-section method)을 이용하였다.

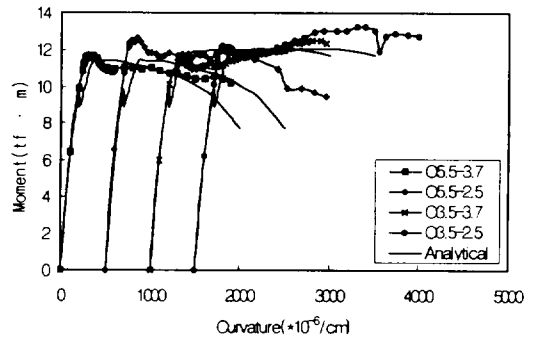


Fig. 10. Comparison of analytic and experimental results(O series).

Fig. 10에 구속된 과대 철근콘크리트 보의 휨 거동에 대한 실험치와 이론치의 비교를 나타내었다. 단면분할법을 이용한 본 해석치는 실험치와 잘 일치하는 경향을 보이고 있다. 따라서, 본 연구의 해석방법에 따라 구속된 과대 철근 보의 최대 내력 산정이 가능하다.

철근콘크리트 보의 연성은 콘크리트 강도, 주철근 양 및 구속 전단철근 양에 의해 영향을 받는다. 전단철근에 의한 구속정도는 강도증가계수(K)로서 나타낼 수 있으며, 구속된 콘크리트의 강도는 강도증가계수와 무근 콘크리트 강도의 곱으로서 식(2)와 같다.

$$f_{cc} = Kf_{ck} \quad (2)$$

강도증가계수 산정은 정 현수 등¹¹⁾이 제시한 방법으로 산정하였다. 본 연구에서 사용된 철근콘크리트 보의 해석방법을 통해 구속된 철근콘크리트 보의 연성과 구속-주철근 지수(ρ_f/Kf_{ck})의 관계를 Fig. 11

에 나타내었다. Fig. 11에서 과대 철근 보의 연성은 구속-주철근 지수에 반비례하는 것을 알 수 있다. 즉, 주철근 양이 작을수록, 전단철근 양이 많을수록 보의 연성은 증가하는 것을 알 수 있다. 또한 주철근 양이 많이 배근된 보일수록 전단철근 양을 많이 배근하여 구속-주철근 지수(ρ_f/Kf_{ck})가 0.35이하를 유지해야 보의 연성을 기대할 수 있다고 사료된다.

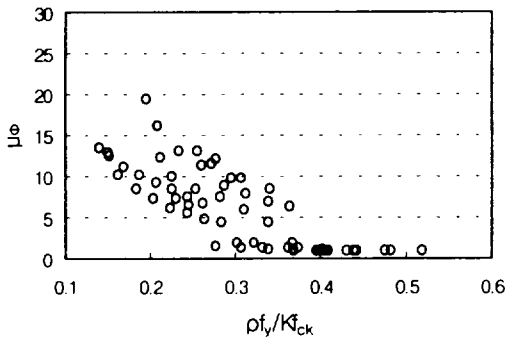


Fig. 11. Relation of curvature ductility and confinement index.

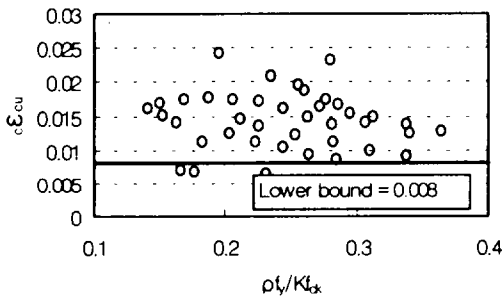


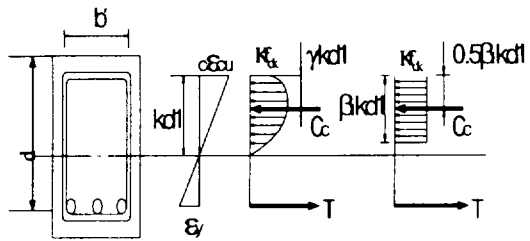
Fig. 12. Relation of extreme compressive strain of core concrete and confinement index.

Fig. 12에 구속된 철근콘크리트 보의 최대 휨 내력 위치에서 코아 콘크리트의 압축연단 변형률과 구속-주철근 지수의 관계를 나타내었다. 구속된 콘크리트의 압축연단 변형률은 0.007에서 0.025의 범위에 있었으며 전단철근 양이 많을수록 코아 콘크리트의 압축연단 변형률이 크게 나타났다. 이는 전단철근 양이 많을수록 피복 콘크리트 박리 이후에도 계속적인 내력증가로 인해 코아 콘크리트의 변형률이 크게 있기 때문이다. 본 연구에서는 구속된 콘크리트 보의 최대

철근비를 산정하기 위해서 두 번째 최대 내력점에서 압축연단 변형률을 추정하여, 코아 콘크리트의 압축연단 변형률이 0.008을 취함을 Fig. 12로부터 알 수 있다.

구속된 콘크리트 보의 연성을 확보하기 위해서 구속-주철근지수가 0.35이상에서는 전단철근을 충분히 배근하여도 연성을 확보할 수 없기 때문에 주철근비에 대한 제한이 필요하다. 구속된 콘크리트 보의 최대 철근비를 산정하기 위해 구속된 코아 콘크리트의 압축 연단 변형률 0.008에 대한 압축응력 블록을 Fig. 13에 나타내었다. 구속된 콘크리트 보의 등가 응력 블록 깊이 계수(β_1)는 구속된 콘크리트 강도에 따라 결정된다. 본 연구에서는 β_1 을 결정하기 위하여 다음과 같은 방법을 따랐다.

- (1) 실제 응력분포(Fig. 13c)와 등가 응력블록(Fig. 13d)의 면적은 같다.
- (2) 인장 주철근의 위치에서 실제 응력분포의 도심까지의 거리와 등가 응력 블록의 도심까지의 거리는 같다.



a) section b) strain c) actual stress d) stress block

Fig. 13. Equivalent stress block of confined core concrete.

위와 같은 방법에 따라 산정된 β_1 과 구속된 콘크리트 강도의 관계를 Fig. 14에 나타내었다. Fig. 14로부터 최소 자승법을 이용하여 등가 응력블록 깊이 계수(β_1)는 식(3)과 같이 제시할 수 있다.

$$\beta_1 = 0.8878 - Kf_{ck} / 10000 \quad (3)$$

따라서 구속된 콘크리트 보의 중립축 깊이는 Fig. 13d)에서의 등가 응력블록을 이용하여 식(4)와 같이 나타낼 수 있다. 이 때 두 번째 최대 내력점에서 압축

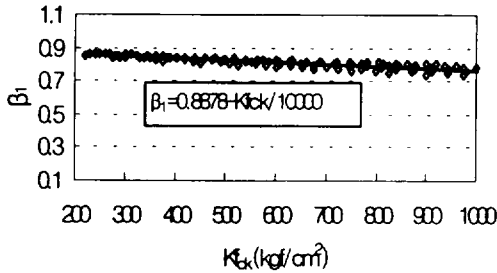


Fig. 14. Relation of depth of equivalent stress block and confined concrete strength.

축 피복콘크리트는 거의 박리하기 때문에 무시하였다.

$$k d l = \frac{c \epsilon_{cu} d'}{c \epsilon_{cu} + \epsilon_y} \quad (4)$$

구속된 콘크리트 보의 최대 철근비는 힘의 평형조건에 의해 식(5)와 같이 된다.

$$\rho_{max} = \frac{A_{st}}{bd} = \frac{K f_{ck} \beta_1 c \epsilon_{cu} b' d'}{f_y (c \epsilon_{cu} + \epsilon_y) bd} \quad (5)$$

극한강도 설계기준에 의한 균형철근비는 식(6)과 같다.

$$\rho_b = \frac{0.85 f_{ck} \beta_1 c \epsilon_{cu}}{f_y (\epsilon_y + \epsilon_{cu})} \quad (6)$$

식(6)을 식(5)에 대입하면 식(7)과 같이 된다.

$$\rho_{max} = \frac{K \beta_1 c \epsilon_{cu} (\epsilon_y + \epsilon_{cu}) b' d'}{0.85 \beta_1 c \epsilon_{cu} (\epsilon_y + c \epsilon_{cu}) bd} \rho_b \quad (7)$$

일반적으로 $b' d' = (0.7 \sim 0.75) bd$ 이고, 철근의 항복 변형률은 0.002이다. 또한, 본 연구에서 제안한 $\epsilon_{cu} = 0.003$, $c \epsilon_{cu} = 0.008$ 을 적용하면 식(8)과 같이 된다.

$$\rho_{max} = 1.1 K \frac{\beta_1}{\beta} \rho_b \quad \left(\text{단, } \frac{\sigma_y}{K f_{ck}} \leq 0.35 \right) \quad (8)$$

식(8)에서 강도증가계수가 클수록 최대 철근비도 증가하며 전단철근 배근의 시공성을 고려하여 구속된

철근콘크리트 보의 최대 철근비는 1.15~1.2 ρ_b 정도가 적절하다고 판단된다

IV. 결 론

전단철근은 일반적으로 전단 내력을 증진시킬 목적으로 전단구간에 배근된다. 그러나 본 연구에서는 전단철근을 휨 구간내에 배근하여 압축축 콘크리트를 구속하여 전단철근의 역할을 파악하였다. 주철근비, 전단철근의 배근 간격, 그리고 전단경간비를 변수로 실험을 실시하고 이를 이론 해석과 비교하여 전단철근의 구속 효과를 파악하였다. 그리고 이를 근거로 설계에서 배제되고 있는 과대철근 보에서 전단철근의 구속 효과를 고려하여 설계의 가능성을 제시하였다. 따라서, 이들 결과들은 층이 한정되어 단면의 층을 증가시킬 수 없는 부분이나 방호 건물, 원자력 발전소 등과 같이 불가피하게 과대철근 보로 설계가 이루어져야 하는 부분의 설계에 기초 자료로 활용이 가능하리라 판단된다.

참고 문헌

- 1) G. D. Base and J. B. Read. Jul., 1965. Effectiveness of Helical Binding in the Compression Zone of Concrete Beams. Journal of ACI. Vol. 62. pp.763-781.
- 2) Surendra P. Shah and Nijay Rangan. 1970. Effect of Reinforcements on Ductility of Concrete. J. of the Structural Eng., ASCE. Vol.96. No.ST6. pp. 1167-1184.
- 3) T. Krauthammer, S. Shahriar, and H. Shanaa. 1987. Analysis of Reinforced Concrete Beams Subjected to Severe Concentrated Loads. ACI Structural Journal. Vol.84. No.6. pp.473-480.
- 4) Hansen, E. A., and Tomaszewicz, A., 1993. Effect of Confinement on the Ductility of Structural Members with High-Strength Concrete. Proceedings of High-Strength Concrete. pp.184-191.

- 5) M.M. Ziara, D. Halolane, and A. S. Kuttab, 1993. Shear and Flexural Strength Resulting from Confinement of the Compression Regions in Circular Section Structural Concrete Beams. Magazine of Concrete Research, Vol.45, No.164, pp.211-219.
- 6) Mohamed M. Ziara, David Haldane, and Atallah S. Kuttab, 1995. Flexural Behavior of Beams with Confinement. ACI Structural Journal, Vol.92, No.1, pp.103-114.
- 7) Raghu Pendyala, Priyan Mendis, and Indubhushan Patnaikani, 1996. Full-Range Behavior of High-Strength Concrete Flexural Members : Comparison of Ductility Parameters of High and Normal-Strength Concrete Members. ACI Structural Journal, Vol.93, No.1, pp.30-35.
- 8) M. A. Mansur, M. S. Chin, and T. H. Wee, 1997. Flexural Behavior of High-Strength Concrete Beams. ACI Structural Journal, Vol.94, No.6, pp. 663-674.
- 9) R. Park, and T. Paulay, 1975. Reinforced Concrete Structures, John Wiley & Sons, New York, N. Y.
- 10) Park, R., Priestley, M.J.N., Gill, W.D., 1982. Ductility of Square-Confined Concrete Columns. Journal of the Structural Division, Vol.108, No. ST4, pp.929-950.
- 11) 정현수, 2000. 축압축력을 받는 고강도 R.C. 기둥의 내력 및 연성에 관한 연구, 한국과학재단, pp. 61.