濟州大學校 產業技術硏究所 論文集, 第11卷, 2號, pp.151-159, 2000. 12
Cheju Nat'l Univ. Res. Insti. Ind. Tech. Jour., Vol.11, No.2, pp.151-159, 2000. 12

鐵筋콘크리트 보에서 剪斷鐵筋이 휨耐力에 미치는 影響

고 유 신* · 기 진 호* · 김 병 호* · 은 희 창** · 서 일 교**

Effects on Flexural Capacity of Shear Reinforcement in Reinforced Concrete Beam

Yu-Shin Ko*, Jin-Ho Ki*, Byung-Ho Kim*, Hee-Chang Eun** and Ill-Gyo Suh**

ABSTRACT

Shear reinforcement has an important role to strengthen shear capacity of reinforced concrete beam. Although the flexural design corresponding to design code does not consider the effects of the shear reinforcement, its utilization in flexural region leads to the improved ductility and the enhanced strength by confining concrete. It allows to design the over-reinforcement beam. In this study, we considered the effects of the shear reinforcement on the flexural ductility and strength of reinforced concrete beam according to the spacing of shear reinforcement, steel ratio, and shear span ratio. The flexural capacity depends on the amount of longitudinal bars and the ductility the confinement degree by the shear reinforcement. The flexural analysis varies with the stress-strain relation of confined concrete. The analytical results based on the stress-strain relation presented by Chung almost corresponded to the experimental ones. It was observed that the proper design of shear reinforcement leads to utilize the over-reinforcement concrete beam.

Key words : Shear reinforcements, over-reinforcement, curvature, core concrete, shear span ratio

Ⅰ. 서 론

철근콘크리트 보의 휨 설계에 관한 국내외 설계기준에서는 전단철근의 영향은 고려하고 있지 않다. 전단철근의 배근 설계는 단지 전단력이 작용하는 부분에 배근하도록 규정하고 있다. 그러나 전단철근에 의한 콘크리트의 구속은 콘크리트가 부담하는 내력을 증진시키는 효과가 있다. 이를 고려한다면 휨 영역에 전단철근의 배근은 철근콘크리트 보의 압축 내력을 증진시키므로 상대적으로 인장측에 고강도 철근을 사용하거나 철근의 단면적을 늘릴 수 있다.

일반적으로 철근콘크리트 보 설계는 휨 파괴를 전제로 과소철근비를 규정하고 있다. 휨 파괴는 충분한 연성을 요구하므로 압축측 콘크리트의 급격한 파괴를 일으키는 균형철근비 이상으로 철근을 배근하는 것은 규정에서 배제하고 있다. 그러나, 한정된 공간내에 보를 위치시키거나 어떠한 형태의 파괴도 용인될 수 없는 원자력 발전소나 방호 건물들에는 과대 배근에 의

* 제주대학교 대학원
Graduate school, Cheju Nat'l Univ.
** 제주대 건축공학과
Dept. of Architectural Eng., Cheju Nat'l Univ.

하여 충분한 휨 강성을 확보하여야 한다. 즉, 휨 영역에 과대 철근비로 배근할 경우에 휨 내력은 물론이고 전단철근에 의한 압축측 콘크리트의 연성 증대로 보 전체의 휨 연성을 증대시킬 수 있다.

전단철근 혹은 띠철근으로 구속된 콘크리트의 역학적 거동은 철근의 배근 간격, 강도, 콘크리트 강도 등 많은 변수에 의해 영향을 받는다. 그래서 횡보강철근에 의해 구속된 콘크리트의 역학적 모델들이 Kent와 Park[1], Fatis와 Shah[2], Sheikh와 Uzumeri[3], 그리고 정헌수[4] 등에 의해 제시되었지만 연구 결과가 일관되지 않고, 정량적인 결과에 차이를 보이고 있다.

그리고 전단철근이 휨에 미치는 영향에 관한 연구로, Base와 Read[5], Surendra[6], Krauthammer[7] 등은 과소 및 과대철근 보에서 전단철근이 휨 내력에 미치는 영향을 파악하였다. 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.

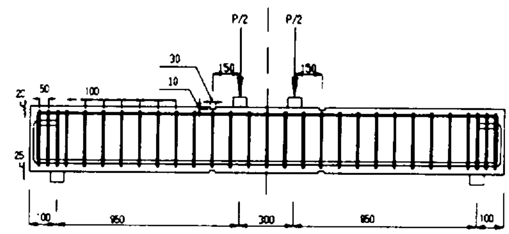
따라서, 본 연구의 목적은 휨 지배 영역에 전단철근에 의한 압축측 콘크리트의 구속 효과를 파악하는데 있다. 인장철근의 배근량에 따른 전단철근의 배근간격과 전단경간비를 변수로 전단철근의 휨 보강 효과를 파악하였다. 그리고 전단경간 영역에서의 전단철근과 휨 영역에서의 전단철근의 역할을 비교하였으며, 이들 변수에 따른 휨 내력과 연성의 개선 정도를 파악하였다. 구속된 콘크리트의 역학적 거동을 설명하는 정 헌수가 제안한 관계를 사용하여 휨 거동을 이론적으로 해석하고, 이를 실험 결과와 비교하여 제안 식의 타당성을 검증하였다.

II. 실 험

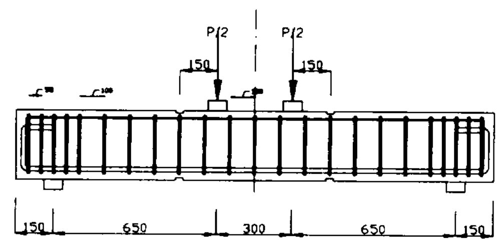
2.1 시험체 제작

Table 1에서와 같이 총 9개의 시험체를 제작하였으며, 전단철근의 간격, 주철근비, 전단경간비를 실험의 주요 변수로 하였다. 전단철근은 압축측 콘크리트의 압축력을 증진시킴으로 그 배근 간격에 따른 구속 효과를, 그리고 전단 지배 영역과 휨 지배 영역에서 전단철근의 역할을 파악하고자 이들 시험체가 선택되었다. Fig. 1은 시험체의 배근형상을 나타내고 있다.

사용 콘크리트의 배합 강도는 210kgf/cm^{2}으로서, 콘크리트의 균일한 성질을 얻기 위하여 레미콘에 의해 시험체에 타설하여 진동기에 의해 충분한 다짐을 실시하였으며, 공시체에 의한 4주 압축강도는 235kgf/cm^{2}을 보였다.



a) Detail and shape of specimen (a/d=3.7)



b) Detail and shape of specimen (a/d=2.5)

Fig. 1 Detail and shape of specimen (unit : mm)

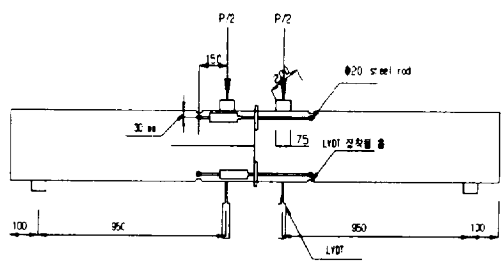


Fig. 2 Measuring and loading method for test

사용 철근은 주철근비를 고려하여 D13~D22를 변화시켜 사용하였으며 전단철근은 D10을, 전단철근의

위치 고정을 위해 압축철근은 $\phi 8$을 사용하였다. 주철근의 정착을 확보하기 위하여 받침점을 지나 갈고리를 두어 충분히 정착시켰다.

전단경간 구간에서는 극한강도 기준에서 제한하고 있는 최대 전단철근 간격을 넘지 않도록 모든 시험체에서 10cm로 동일하게 배근하였다. 사용된 철근의 역학적인 특성을 Table 2에 나타내었다.

28일 후 실험 시에 가력은 변위 제어에 의하였으며, 급격한 내력 저하가 일어나거나 파괴정도가 너무

Table 1. Summary of specimens

specimen	steel	ρ/ρ_b	s (cm)	ρ_s	ω
U10-2.5	3-D13	0.347	10	0.014	0.147
B3.5-3.7	4-D19	1.05	3.5	0.041	0.448
B3.5-2.5		1.05	3.5	0.041	0.448
O5.5-3.7	2-D19 & 2-D22	1.25	5.5	0.026	0.530
O5.5-2.5		1.25	5.5	0.026	0.530
O3.5-3.7		1.25	3.5	0.041	0.530
O3.5-2.5		1.25	3.5	0.041	0.530
MO5.5-3.7	4-D22	1.434	5.5	0.026	0.610
MO3.5-3.7		1.434	3.5	0.041	0.610

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

ρ_s : 전단철근 체적비, $\omega = \frac{\rho f_y}{f_{ck}}$

O3.5-3.7
└ 전단경간비(3.7, 2.5)
── 순 휨구간에서 전단철근 배근 간격(10, 5.5, 3.5cm)
── U : 과소철근비(Under-reinforcement ratio)
── B : 균형철근비(Balanced-reinforcement ratio)
── O : 과대철근비(Over-reinforcement ratio)
── MO : 극대철근비(Most over-reinforcement ratio)

Table 2. Mechanical properties of steels

steel	yield strength (kgf/cm^2)	strain at yield(%)	Young's modulus (kgf/cm^2)	Tensile strength (kgf/cm^2)
D10	4,070	0.199	2.04×10^6	5630
D13	4,970	0.252	1.95×10^6	6050
D19	4,650	0.243	1.6×10^6	6500
D22	4,570	0.235	1.62×10^6	6330
$\phi 8$	3,120	0.170	1.83×10^6	4650

심하여 더 이상 가력이 불가능하다고 판단될 때까지 가력하였다. 하중은 프레임에 부착된 로드 셀에 의해 측정하였다. 코아 콘크리트의 연단변형률을 측정하기 위하여 압축측 전단철근 하부에 매립용 콘크리트 게이지를 부착하였다.

휨구간내에 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. 2는 가력 및 측정 장치를 나타내고 있다.

시험체의 가력과 함께 균열의 진전상황을 파악하기 위하여 미리 시험체에 백색 페인트로 도색하였으며 가력 중 시험체에 발생하는 균열은 육안으로 식별하여 균열의 진전 상태를 시험체에 나타내었다. 전단철근에 의한 압축측 콘크리트의 구속 효과를 파악하고자, 압축측 콘크리트의 압괴 및 피복 박리 이후에도 가력하여 연성을 측정하였다.

2.2 실험 결과 및 분석

철근콘크리트 보는 휨부재로 인장측에 배근된 철근의 항복 이후에 압축측 콘크리트의 압괴로 이어지는 휨파괴를 전제로 설계가 이루어지고 있다. 그리하여 균형철근비 이하인 과소철근비로 배근 설계가 이루어지고 있다. 과대철근으로 보강된 보에서 휨내력은 증가하나 부족한 연성의 확보없이는 위험을 동반하게 되므로 설계에 어려움이 있다.

전단내력을 보강할 목적으로 배근된 전단철근을 휨 구간에 배근함으로써 휨연성을 증진시킬 수 있다. 실험 결과, 휨 내력은 피복 콘크리트의 박리와 함께 저하되며, 주철근비가 클수록 피복 콘크리트의 박리 시점이 빠르고 내력저하가 급격히 발생하는 취성적인 거동을 보였다. 그러나, 전단철근에 의해 압축측이 구

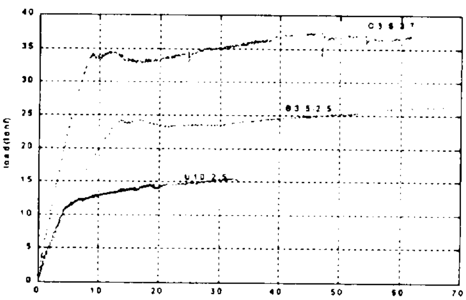
속된 콘크리트 보의 휨 내력은 주철근의 항복 또는 피복 콘크리트 박리와 함께 내력이 저하되지만 주철근의 경화현상으로 내력의 증가로 2차의 최대 휨 내력을 보였다.

제작된 모든 시험체는 휨에 의한 파괴를 전제로 계획 되었으므로 전단경간비가 2.5인 시험체에서도 전단 보다는 휨에 의해서 파괴가 발생하도록 설계되었다. 따라서, 모든 시험체는 휨에 의해 파괴가 발생하였다. 과소 철근으로 배근된 시험체는 초기 휨 균열이 발생한 후, 균열들이 양쪽 지지점과 단면의 상부로 점차 진행되며 주철근이 항복한 후에 이들에 의한 연성을 보이며 궁극적으로 휨 파괴되는 보편적인 파괴 양상을 보였다. 단지, 전단경간비가 2.5인 시험체는 전단에 의한 영향으로 단부 방향에 휨-전단 균열이 발생함을 볼 수 있었다. 균형 철근비나 과대 철근비로 배근된 시험체에서도 과소 철근 배근된 시험체와 유사하게 초기 휨 균열이 발생하고 이들 균열들이 양단부와 단면의 압축측으로 점차 확대되었으며, 전단경간비가 2.5인 시험체들에서 휨-전단 균열을 관찰할 수 있었다. 그리고 인장 철근의 항복을 전후하여 압축측 콘크리트의 압괴인 피복 콘크리트의 박리가 구속된 코아 콘크리트 부분을 제외하고 점점 인장측으로 확대됨을 볼 수 있었다. 전단철근의 배근은 휨내력에 영향을 미치지 못하나 전단철근의 간격이 조밀해짐에 따라 연성이 증진됨을 관찰할 수 있었다. 전단철근의 배근 간격이 조밀하여 압축측 콘크리트의 구속 효과가 큰 시험체에서는 전단철근 배근을 위해 배근된 압축 철근의 부착 파괴가 지점 부근의 단부에서 관찰되었다. Table 3에 실험 결과를 요약하였다.

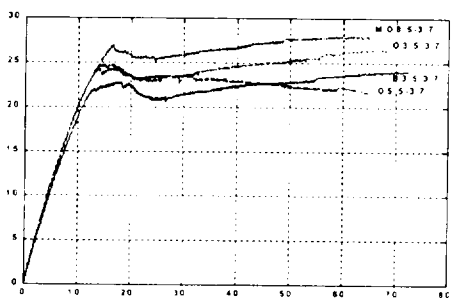
2.2.1 하중과 처짐

Fig. 3은 시험체에 작용하는 하중과 처짐 관계를 나타내고 있다. 이 그림에서 최대 하중은 인장 철근량이 증가함에 따라 증가함을 볼 수 있으며, 최대 하중 이후에는 철근의 경화 현상에 의해 연성적인 거동을 보이고 있음을 알 수 있다. 균형철근비 이상인 과대 철근으로 배근된 시험체는 다른 시험체에 비하여 작은 처짐에서 철근이 항복한다는 것을 볼 수 있다. 또한, 전단에 취약한 전단경간비가 2.5인 시험체인 경우에도 전단에 대한 적절한 보강 설계가 이루어진다면 휨에 대해 충분한 연성이 확보됨을 알 수 있다.

Fig. 3 b)에서 최대 하중은 인장측 철근의 배근량에 의해 결정됨을 볼 수 있다. 그러나, 전단철근의 배근 간격이 조밀해짐에 따라서 철근의 경화 현상으로 연성 및 내력이 증진되어 2차의 최대 하중을 보이고 있다. 즉, 전단철근이 조밀하게 배근된 시험체에서 압축측 피복 콘크리트의 박리 이후에도 구속력의 영향 및 주철근의 경화현상으로 다시 내력이 상승하는 것을 보여주고 있다.



a) Load-deflection according to the area of steels



b) Load-deflection according to the area of steels and spacing of shear reinforcement

Fig. 3 Load-deflection relation

2.2.2 전단철근의 영향

일반적으로 과대철근 보일수록 휨에 저항하는 압축 영역이 증가되어 주철근이 항복에 도달하기 이전에 압축측 콘크리트의 압괴에 의한 취성적인 파괴거동을 보인다. 그러므로 과대철근 보에서 압축측 콘크리트를 구속하여 콘크리트의 내력과 연성을 증가시킨

다면 과대철근 보의 휨 내력 및 연성을 확보할 수 있을 것이다.

Fig. 4에 전단철근의 배근 간격에 따른 모멘트와 곡률 관계를 나타내고 있다. 이 그림에서 볼 수 있듯이 전단철근의 배근은 최대 휨모멘트에는 영향을 거의 미치지 않음을 볼 수 있다. 그러나 전단 철근의 배근 간격을 5.5cm에서 3.5cm로 줄일 경우에 연성은 증진되어 2차 최대 휨모멘트를 보이고 있다.

Table 3에서 볼 수 있듯이 초기 휨 균열시 휨 내력은 전단철근 간격이나 주철근양에 거의 영향을 받지 않고 있는 것을 알 수 있다. 휨 연성은 인장측에 배근된 주철근의 양 보다는 전단철근의 배근 간격에 의해 확보됨을 알 수 있다. 본 실험 결과, 과대철근 보에서 휨 연성을 확보하기 위하여는 전단철근 간격을 D/8(≒3.5cm) 이하로 배근할 필요가 있다고 사료된다. 그리고, 전단철근으로 충분히 구속할 경우 과대철근 보로 설계하여 휨 내력과 연성을 모두 높일 수 있다고 사료된다.

Table 3. Summary of experimental results

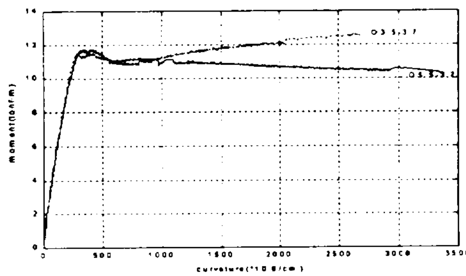
speciemn	Initial crack moment M_{cr} (tf · m)	Moment at yield of steel M_y (tf · m)	M_{max} (tf · m)			displace ment ductility ratio (μ_Δ)
			Ana.#	Exp.	Ana/ Exp.	
U10-2.5	0.85	3.86	5.0	5.0	1.0	14
B3.5-3.7	0.85	10.0	11.27	11.4	1.01	5.6*
B3.5-2.5	1.23	11.1	11.27	12.2	1.08	5.93
O5.5-3.7	0.66	10.7	11.44	11.8	1.03	1.48
O5.5-2.5	1.0	12.2	11.44	12.8	1.12	1.39
O3.5-3.7	0.81	10.6	12.1	12.6	1.04	5.26*
O3.5-2.5	0.84	11.4	12.1	13.4	1.11	5.9
MO5.5-3.7	0.66	11.7	12.3	12.9	1.05	1.3
MO3.5-3.7	0.81	12.4	13.1	13.3	1.01	5.1*

여기서 해석치는 정 헌수 등이 제안한 구속된 콘크리트의 응력-변형률 관계를 사용하여 해석된 값임.

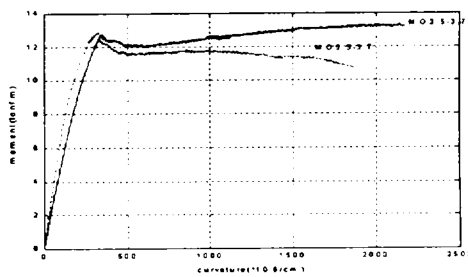
* 실험 종료시까지도 휨 내력저하가 생기지 않은 시험체로서 실험 종료시의 변위를 사용하여 변위연성비를 산정하였음

2.2.3 전단경간비에 따른 휨 거동

Fig. 5와 Table 3에서 볼 수 있는 바와 같이 철근콘크리트 보의 전단내력에 큰 영향을 미치는 요인인 전단경간비가 2.5와 3.7인 시험체에 대해 전단경간비

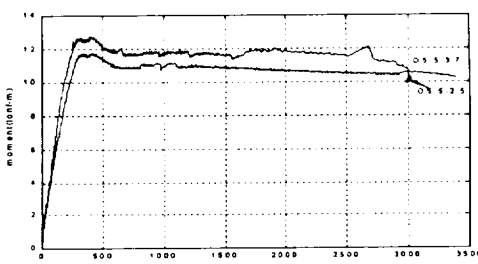


a) over-reinforcement concrete beam

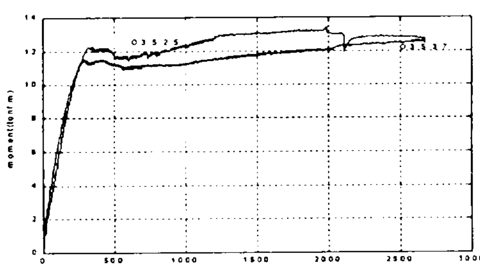


b) most over-reinforcement concrete beam

Fig. 4 Moment-curvature relation



a) over-reinforcement concrete beam with spacing 5.5cm



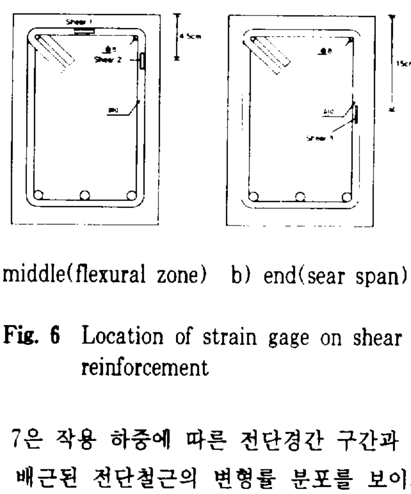
b) over-reinforcement concrete beam with spacing 5.5cm

Fig. 5 Moment-curvature relation according to shear span ratio

가 2.5인 시험체가 보다 큰 휨 내력을 나타내고 있다. 그러나 최대 휨 내력 이후에 연성은 전단경간비가 작은 경우에 저하됨을 볼 수 있다. 따라서, 전단경간이 작은 보는 전단에 대해 적절하게 보강을 취하고 휨 구간을 전단철근에 의해 보강한다면 충분한 휨내력 및 연성을 확보함을 알 수 있다.

2.2.4 전단철근의 거동

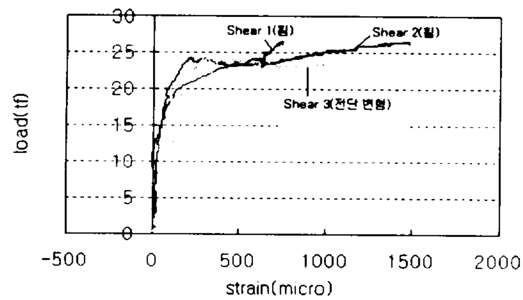
전단철근은 철근콘크리트 보의 전단내력 증진, 압축측 콘크리트 구속, 압축철근 배근을 목적으로 한다. 전단철근에 의한 압축측 콘크리트의 구속은 단면의 바깥 방향으로 내압이 작용하여 전단철근에는 인장 응력이 발생한다. 전단철근이 콘크리트 구속에 미치는 영향을 측정하고자 경간 중앙부에, 가력점과 지점을 연결하는 선과 교차하는 위치 및 사인장 균열이 예측되는 위치에 여러 개의 스트레인 게이지를 각각 부착하여 전단철근의 변형률을 측정하였다. 즉, Fig. 6에서와 같이 휨 지배 영역에서는 Shear 1과 2를, 휨과 전단을 받는 단부에는 Shear 3을 각각 부착하였다.



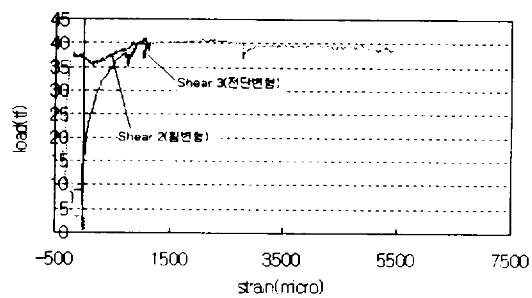
a) middle(flexural zone) b) end(sear span)

Fig. 6 Location of strain gage on shear reinforcement

Fig. 7은 작용 하중에 따른 전단경간 구간과 휨 구간내에 배근된 전단철근의 변형률 분포를 보이고 있다. 전단 설계에서 전단철근의 최적 설계라 함은 보가 전단에 의해 파괴와 동시에 전단철근의 항복을 나타낼 때의 배근을 일컫는다. 이런 관점에서 휨 구간내에 전단철근은 전단 경간내에 전단철근 보다 더 큰 변형 및 항복에 달하는 것을 미루어 휨 구간에서 효과적으로 압축측 콘크리트를 구속시키고 있음을 알 수 있다. 그리고 전단경간비가 2.5로 감소하면 전단경



a) O3.5-3.7 specimen



b) O3.5-2.5 specimen

Fig. 7 Strain of shear reinforcement

간내에 전단철근이 전단에 대한 저항이 커지나 여전히 압축측 콘크리트를 구속하는데 보다 효과적임을 알 수 있다. 따라서, 전단철근을 휨 영역에 배근을 한다면 주철근의 양을 늘려서 휨 내력을 증진시킬 수 있으며, 동시에 휨 연성도 확보 가능함을 알 수 있다.

III. 전단철근으로 보강된 철근콘크리트 보의 휨 해석

3.1 전단철근에 의한 구속을 고려한 휨 해석

구속된 철근콘크리트 보의 휨 거동을 예측하기 위해서는 구속된 콘크리트의 응력-변형률 모델, 무근 콘크리트의 응력-변형률 모델, 주철근의 응력-변형률 모델이 필요하다. 구속된 콘크리트의 응력-변형률 관계는 정 헌수 등의 응력-변형률 모델을 이용하였다. 무근 콘크리트의 응력-변형률 모델은 Hognestad의

모델을, 철근의 응력-변형률 관계는 Park[8]의 모델을 이용하였으며 철근의 경화현상을 고려하였다.

구속된 철근콘크리트 보 단면의 모멘트-곡률 관계는 단면을 분할하여 산정되었다. 해석을 위한 기본 가정으로는 (1) 평면은 휨 변형 후에도 평면이다. (2)

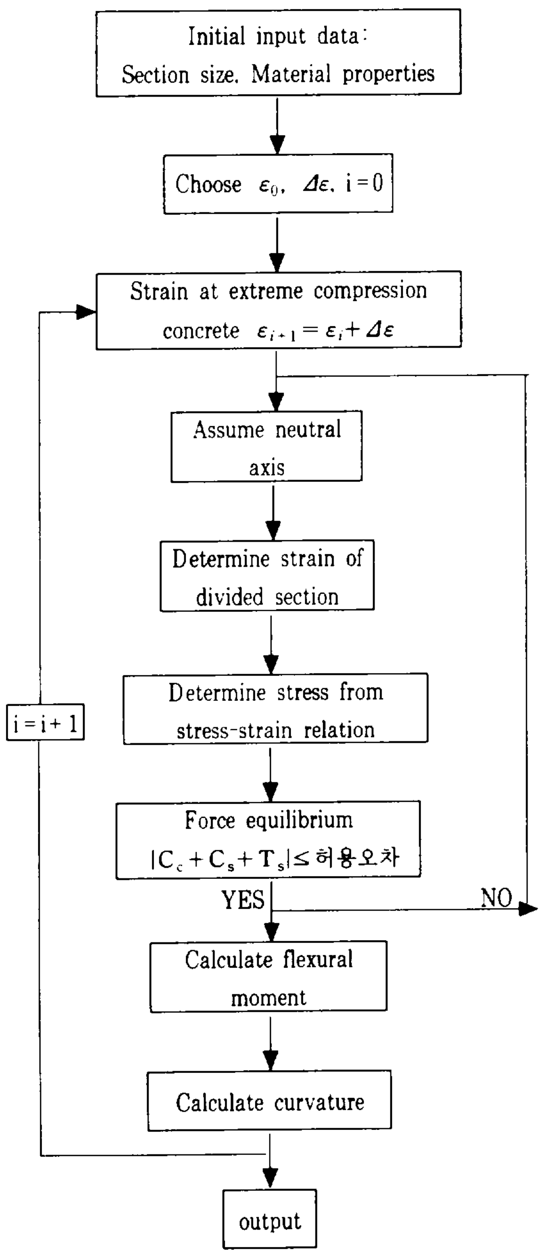
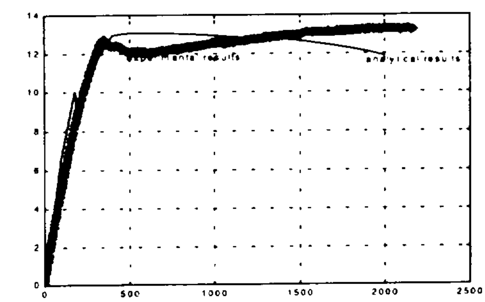


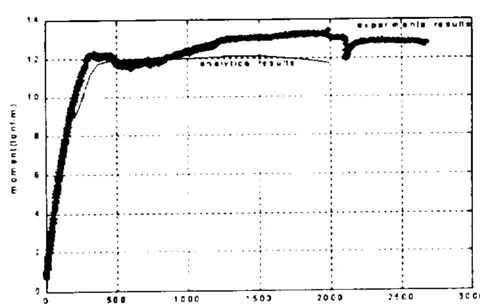
Fig. 8 Flow chart for computer program

콘크리트의 인장 응력은 무시한다. (3) 피복 콘크리트의 박리시 변형률은 0.003이다. Fig. 8에서 보는 바와 같이 압축 연단 콘크리트의 변형률을 증분하여 각 변형단계에서 전단면에 작용하는 응력을 산정하고 이들 응력과 분할 면적을 곱하여 압축력과 인장력을 계산하고 힘의 평형 조건과 이분법(bi-section method)을 이용하여 중립축 위치를 결정하며, 최종으로 모멘트 및 곡률을 산정하였다.

Fig. 9에 전단철근에 의한 압축 콘크리트의 구속효과를 고려한 철근콘크리트 보의 모멘트-곡률 관계에 대한 실험치와 해석치의 비교를 나타내었다. 실제 실험치에서 압축측 피복 콘크리트의 박리는 연단 변형률이 0.003~0.004에서 시작되었으며, 일부 시험체에서는 큰 변형에서 압축철근의 좌굴로 인한 내력저하도 보였다. 그러나, 구속된 콘크리트의 응력-변형률 관계를 이용한 해석치는 최대 휨 내력 및 그 이후의 거동을 비교적 잘 유추하고 있다고 사료된다. 전단철



a) MO3.5-3.7 specimen

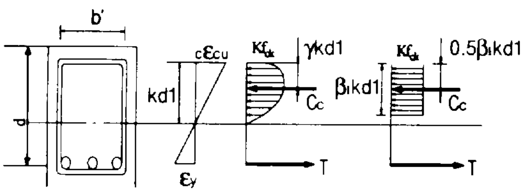


b) O3.5-2.5 specimen

Fig. 9 Comparison of experimental and analytical results

근에 의한 압축측 콘크리트의 구속을 묘사하는 정 헌 수의 제안 식이 타당함을 볼 수 있다.

따라서 전단철근에 의한 콘크리트의 구속은 과대 철근 보의 설계를 가능하게 하며 이를 전제로 간편한 응력 블록을 적용하여 설계가 가능하다. 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. 10에 나타내었다. 구속된 콘크리트 보의 등가 응력 블록 깊이 계수(β_1)는 구속된 콘크리트 강도에 따라 결정된다.



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

Fig. 10 Equivalent stress block of confined core concrete

본 연구에서는 β_1을 결정하기 위하여 다음과 같은 방법을 따랐다.

(1) 실제 응력분포(Fig. 10c))와 등가 응력블록(Fig. 10d))의 면적은 같다.
(2) 인장 주철근의 위치에서 실제 응력분포의 도심까지의 거리와 등가 응력 블록의 도심까지의 거리는 같다.

위와 같은 방법에 따라 산정된 β_1과 구속된 콘크리트 강도의 관계를 Fig. 11에 나타내었다. Fig. 11로부터 최소 자승법을 이용하여 등가 응력블록 깊이 계수(β_1)는 식(1)과 같이 제시할 수 있다.

$$\beta_1 = 0.8878 - Kf_{ck}/\ 10000 \qquad (1)$$

따라서 구속된 콘크리트 보의 중립축 깊이는 Fig. 10에서의 등가 응력블록을 이용하여 식(2)와 같이 나

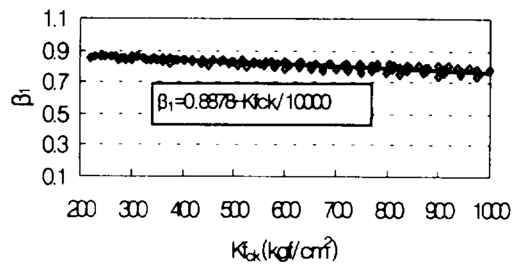


Fig. 11 Relation of equivalent stress block depth factor and strength of confined core concrete

타낼 수 있다. 이 때 2차 최대 내력점에서 압축측 피복콘크리트는 거의 박리하기 때문에 2차 최대 하중은 무시하였다.

$$kd1 = \frac{{}_c\varepsilon_{cu}\, d'}{{}_c\varepsilon_{cu} + \varepsilon_y} \qquad (2)$$

구속된 콘크리트 보의 최대 철근비는 힘의 평형조건에 의해 다음으로 된다.

$$\rho_{max} = \frac{A_{st}}{bd} = \frac{Kf_{ck}\beta_1\, {}_c\varepsilon_{cu} b'd'}{f_y({}_c\varepsilon_{cu} + \varepsilon_y)bd} \qquad (3)$$

극한강도 설계기준에 의한 균형철근비는 다음과 같이 정의하고 있다.

$$\rho_b = \frac{0.85 f_{ck}\beta\varepsilon_{cu}}{f_y(\varepsilon_y + \varepsilon_{cu})} \qquad (4)$$

식(4)를 식(3)에 대입하면 최대 철근비는 다음으로 수정된다.

$$\rho_{max} = \frac{K\beta_1\, {}_c\varepsilon_{cu}(\varepsilon_y + \varepsilon_{cu})b'd'}{0.85\beta\varepsilon_{cu}(\varepsilon_y + {}_c\varepsilon_{cu})bd}\rho_b \qquad (5)$$

일반적으로 $b'd' = (0.7 \sim 0.75)bd$이고, 철근의 항복 변형률은 0.002이고 본 연구에서 제한한 $\varepsilon_{cu} = 0.003$, ${}_c\varepsilon_{cu} = 0.008$을 적용하면 식(6)과 같이 된다.

$$\rho_{max} = 1.1K\frac{\beta_1}{\beta}\rho_b \quad (단, \frac{\rho f_y}{Kf_{ck}} \le 0.35) \qquad (6)$$

식(6)에서 강도증가계수가 클수록 최대 철근비도 증가하며 전단철근 배근의 시공성을 고려하여 구속된

철근콘크리트 보의 최대 철근비는 1.15~1.2ρ_b 정도가 적절하다고 판단된다.

Ⅳ. 결 론

전단철근은 부재의 전단력을 부담하여 전단내력을 증진시키고, 주철근의 위치를 고정시키는 외에 휨에 대하여 연성을 개선시켜 소성 힌지의 회전 능력을 크게 향상시킬 수 있다. 따라서, 본 연구에서는 전단철근에 의한 보강이 휨에 미치는 영향을 실험을 통하여 파악하였으며, 이를 이론 해석과 비교를 실시하였다. 실험으로부터 주철근과 전단철근 및 전단경간비에 의한 휨 거동을 파악하였으며, 실험 결과를 이론 해석 결과와 비교하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 철근콘크리트 보의 휨 내력은 주철근의 배근양에 의해 결정되며, 전단철근은 영향을 크게 미치지 못하는 것으로 나타났다. 균형철근비 이상으로 배근된 시험체에서는 구속에 의한 압축측 콘크리트의 내력증가로 과대철근 보 설계를 허용하며, 휨 연성을 증진시킨다.

(2) 전단경간비가 2.5인 시험체가 3.7인 시험체 보다 큰 휨 내력을 보이나 연성은 감소함을 볼 수 있다.

(3) 과대철근 보에서 압축측 콘크리트를 구속하면 휨 내력 및 전단철근에 의해 휨 연성을 확보할 수 있다. 이 때, 전단철근의 간격을 D/8이하로 한다.

(4) 휨 파괴를 전제로 설계된 시험체에서 휨 지배 구간과 전단 경간내에 전단철근의 변형률 분포로부터 휨 지배 영역에서의 전단철근이 효과적으로 압축 콘크리트를 구속하고 있음을 알 수 있다.

(5) 전단철근으로 보강된 철근콘크리트 보의 휨 해석에서 정 헌수 등이 제안한 식이 타당함을 실험 결과와의 비교로부터 알 수 있었다.

(6) 구속된 콘크리트의 응력-변형률 모델을 코아 콘크리트의 연단 변형률을 0.008을 가정하여 설계에 적용하기 간편한 응력 블록을 제안하였으며, 이를 근거로 구속된 철근콘크리트 보의 최대 철근비는 1.15~1.2ρ_b 정도가 적절함을 유추할 수 있었다.

참고문헌

1) Kent. R., Priestly. M.J.N., and Gill. W.D., 1982. *Ductility of Square-Confined Concrete Columns*. Journal of the Structural Division. ASCE. Vol. 108. No. ST4. Apr., pp.929-950

2) Shah. S.P., Fafitis. A., and Arnold. R., Dec. 1982. *Cyclic Loading of Spirally Reinforced Concrete*. Journal of Structural Engineering. ASCE. Vol. 108. No. ST12. pp.2703-2722

3) Sheikh. S.A. and Uzumeri. S.M., May. 1980. *Strength and Ductility of Tied Concrete Columns*. Journal of the Structural Division. ASCE. Vol. 106. No. ST5. pp.1079-1102

4) 정헌수. 2000. 축압축력을 받는 고강도 R.C. 기둥의 내력 및 연성에 관한 연구. 한국과학재단. pp.61

5) 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

6) 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

7) T. Krauthammer. S. Shahriar. and H. Shanaa. 1987. *Analysis of Reinforced Concrete Beams Subjected to Severe Concentrated Loads*. ACI Structural Journal. V. 84. No. 6. pp. 473-480

8) R. Park. and T. Paulay. 1975. Reinforced Concrete Structures. John Wiley & Sons. New York. N. Y.

9) 양근혁. 1998. 횡보강근으로 구속된 철근콘크리트 기둥의 휨 내력과 연성에 관한 연구. 중앙대학교 대학원 석사학위논문

10) 은희창 외 4인. 2000. 철근콘크리트 구조 설계. 태림문화사