

# 고강도 철근 콘크리트 휨 부재의 휨 · 전단거동에 미치는 축방향 구속의 영향

Effects of Axiral Restraint on flexural and Shear Behavior in High Strength Reinforced Concrete Beams



양은익\*

Yang, Eun-ik



고훈범\*\*

Ko, Hune-Bum



김진근\*\*\*

Kim, Jin-Keun



이성태\*\*\*\*

Yi, Seong-Tae

## ABSTRACT

Flexural and shear loading tests for high strength concrete beams were conducted on a restrained and unrestrained flexural member to estimate the effects of a restrained condition with an imposed transverse loading, including the axially induced deformation due to hydration heat and shrinkage.

According to test results, the stiffness of the restrained beam was initially lower than that of the unrestrained beam because of a crack generated by restraint during curing time. However, this trend reversed under restrained conditions when the direction of restraining force was changed from tension to compression with increase of load.

Even though the deformation capacity of the restrained beam was decreased, the flexural strength of the perfectly restrained beam was at least 20% higher than that of the unrestrained beam.

Furthermore, shear strength and shear crack propagation were not affected by the

\* 정회원, 한국과학기술원 토목공학과 연구원

\*\* 정회원, 금호건설(주) 기술연구소 주임연구원

\*\*\* 정회원, 한국과학기술원 토목공학과 교수

\*\*\*\* 정회원, 한국전력기술(주) 토목구조기술처 책임기술원

• 본 논문에 대한 토의를 1998년 2월 30일까지 학회로 보내주 시면 1998년 4월호에 토의회답을 게재하겠습니다.

transverse crack(crack width less than 0.1 mm) due to the restraining tensile stress before loading.

Keywords : high strength concrete, flexural member, axial restraint, flexural behavior, shear behavior

## 1. 서론

철근콘크리트 구조체의 각 부재는 주변의 연결 부재에 의해 서로 변형이 구속되기 때문에 각 부재의 거동은 구조체로부터 떼어낸 단독체로서 조사한 부재의 거동과는 상이하다. 슬래브와 같이 단부가 기둥 및 보에 의해 구속되는 경우, 슬래브의 변형과 내력은 Johansen이 제안한 항복선 이론<sup>1)</sup>에 의한 결과와는 달리 구속을 받는 슬래브의 내력은 상당히 증가하게 된다. 이러한 내력의 상승은 구속에 의한 아치 거동과 항복선의 변화에 기인하는 것으로 구속과 아치 거동의 영향에 대한 많은 연구가 수행되어 왔다.<sup>2)~4)</sup> 기둥의 경우에는 黒正<sup>5)</sup>이 기둥의 축변형을 완전히 구속한 실험<sup>6)</sup>을 수행하여 축변형 구속의 영향을 조사한 결과, 축변형이 구속된 상태에서 수평력을 받으면 휨 내력과 전단내력의 크기가 역전할 가능성이 있음을 시사하였다. 이러한 경향은 휨변형에 의해 축방향 변형이 크게 발생하는 휨부재에서도 현저하게 나타나며 축변형 구속에 의해 휨부재의 구조성능이 바뀐 뿐만 아니라 구조물 전체의 거동에 크게 영향을 미치는 것이 확인되고 있다.<sup>7)~10)</sup>

藤澤<sup>11)</sup>은 T형보에 역대칭 가력장치를 사용하여 반복 재하를 가한 결과, 축변형을 구속한 부재에서는 내력상승, 콘크리트 단부의 압축파괴 등 이력성능이 크게 변화하는 것을 실험과 해석을 통하여 확인하였다. 한편, 坂田<sup>12)~14)</sup>은 축구속을 받는 철근콘크리트 보에는 축압축력이 작용하여 내력이 상승하지만 콘크리트의 압축파괴가 빨리 발생하므로 변형능력을 과대 평가하지 않아야 한다고 하였으며, 구속부재의 특성을 골조의 거동에 적용한 결과 스패수가 많을 수록 보의 항복에 따른 영향이 크고 골조의 기둥이 부담하는 전단력은 보의 축방향 변형에 크게 의존하는

것으로 보고하였다.

한편, 山村<sup>15)</sup>은 건조수축에 의해 부재에 발생하는 축방향 인장력을 산정하여 RC보의 전단내력을 조사한 결과, 축방향 인장력이 클 수록 부재내력은 저하하며 전단파괴에서 휨파괴로 이동하는 가능성이 높게 되는 것을 지적하였다.

이와 같이 지금까지 수행되어온 실험 및 해석 결과에 따르면 여러 구속조건에 놓인 철근콘크리트 휨부재에서의 부재거동은 축변형 구속에 의해 크게 다르다. 그러나 지금까지의 휨부재의 구속효과에 관한 연구는 아직 부족한 실정이며 구속에 의한 영향을 고려할 때 부재의 자유 신축량과 재하에 의한 축방향 변화량을 별도로 취급하고 있어 구속에 의한 영향평가가 명백하지 않은 상태이다. 콘크리트 휨부재가 받는 구속은 콘크리트의 수화 반응과 함께 시작되어 재하에 의한 부재의 파괴시까지 지속되고 상호 관계에 의해 변하는 것이므로 구속에 의한 휨부재의 거동을 파악하기 위해서는 일련의 구속조건을 고려한 종합적인 평가가 필요하다.

이 연구는 타설 직후부터 부재 파괴시까지 축변형이 구속되는 휨부재의 휨·전단 거동을 파악하기 위한 것이다. 이를 위해 타설 직후부터 재하 전까지 축변형이 구속되는 부재의 거동<sup>13)~14)</sup>에 계속되어 재하시에도 축변형을 구속받는 RC보와 재하시만 축변형을 구속한 RC보 및 전혀 축방향 구속을 받지 않는 RC보에 대한 각 경우의 철근콘크리트 보의 휨파괴 및 전단파괴 실험을 실시하고 축방향 변형구속이 부재의 축방향 구속력, 강성, 최대내력 및 변형성능에 미치는 영향을 비교·검토하였다.

## 2. 실험 개요

### 2.1 사용 재료

실험체 제작에 사용한 콘크리트는 기건 양생을 한  $\phi 10 \times 20\text{cm}$  실린더의 재령 28일에서의 압축강도가  $690\text{kg/cm}^2$ 인 고강도 콘크리트로서, 그 배합은 Table 1과 같다. 실험체 주철근으로는  $f_t = 6.920\text{kg/cm}^2$ 인 D13의 고강도 철근을, 전단 보강근으로는  $f_t = 3.690\text{kg/cm}^2$ 인 D6의 보통강도 철근을 사용하였다.

Table 1 Mix proportions

W/C (%)	s/a (%)	W	C	S	G	Ad* (%)	$f_t'$ (kg/cm <sup>2</sup> )	$p = \rho'$
		(kg/m <sup>3</sup> )						
27	48	165	611	756	857	1.1	690	0.0128

\* 고강도 AE 감수제(시멘트에 대한 중량비)

### 2.2 실험체 제작

실험체로는 휨과괴 실험(F series) 및 전단파괴 실험(S series)의 각각에 대하여, 콘크리트의 경화와 함께 시작되는 수화열과 건조에 의한 축방향 부재 신축을 완전 구속하고 재하 실험 중에도 동일한 시스템으로 축방향 변형을 구속한 실험체(FRR, SRR), 실험체의 제작 및 양생 중에는 외부구속을 하지 않고 재하시에만 축방향 변형을 구속한 실험체(FFR, SFR) 및 실험체의 제작·양생시와 재하 중에 전혀 축방향 구속을 하지 않은 무구속 실험체(FFF, SFF)를 제작하였다. 각 실험체에 표기한 기호의 설명을 Fig. 1에 나타내었다. 각 실험체 제작시에는 거푸집의 외측에 단열층을 설치함으로써 실제 부재에서의 수화열에 의한 온도상승과 유사한 온도이력을 받도록 하였다.

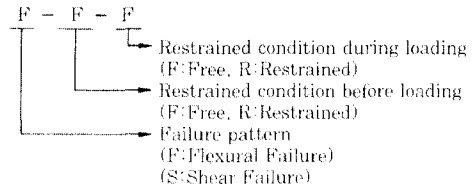


Fig. 1 Identification of specimen

제작한 실험체의 단면은  $18 \times 25\text{cm}$ 이며 실험체의 양단 지점 간의 거리는  $2.4\text{m}$ 이다. 휨과괴 실험 및 전단파괴 실험체의 배근 상세를 Fig. 2에 나타내었다.

### 2.3 축방향 변형구속 방법 및 재하방법

축방향 변형을 지속적으로 완전히 구속하기 위하여, 실험체 양단에 설치한 변위계로 측정된 길이 변화가 제어가능한 설정치(축방향 변형량:  $\pm 0.02\text{mm}$ , 환산변형률:  $\pm 8.3\mu$ ) 이하가 되도록 축방향 유압잭의 유압을 조절하고 그 값을 Feed back 시키는 자동제어를 실시하였다(Fig. 3 참조). 단, 축방향 변형구속으로 발생하는 축력이 지점의 수평 저항 능력에 근접하는  $36\text{ ton}$ 에 이르면 축방향 변형 제어방식에서 일정 속하중 제어방식으로 변환하였다.

#### (1) F series

휨과괴 실험에서는 부재의 중앙변위가  $0.5\Delta y^*$ ,  $\Delta y^*$ ,  $2\Delta y$ ,  $3\Delta y$ ,  $4\Delta y$ 인 단계에서 하중재하 방향을 바꾸는 점중 변위 반복재하를 하였다. 이때  $\Delta y^*$ 는 임계단면의 주철근 변형률이 주철근의 항복변형률인  $3500\mu$ 이 되는 시점의 변위량이며  $\Delta y$ 는 하중 변위 곡선으로부터 구한 부재의 항복변위이다. 하중 재하는 Fig. 3에 나타난 바와 같이 3점 재하 방식으로 실시하였다.

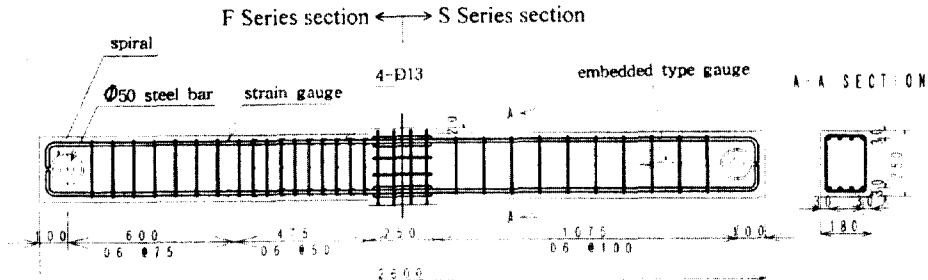


Fig. 2 Beam section and reinforcement details

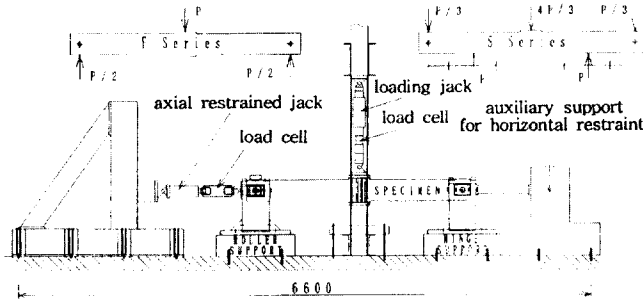


Fig. 3 Schematic diagram for restraints and loading device

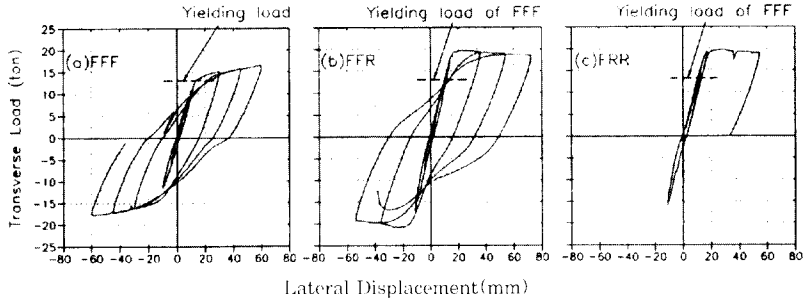


Fig. 4 Transverse load - transverse displacement curves

## (2) S series

전단파괴 실험에서는 Fig. 3의 중앙 재하점과 지점 사이의 중간 부분에 연직 유압잭을 설치하고 중앙 재하점과 중간 재하점의 스패에 발생하는 모멘트가 역대칭이 되도록 3개의 유압잭 하중을 조정하는 5점 재하를 실시하였다. 전단 스패비(a/d)는 2.44였으며, 하중 재하는 단조 짐승 재하 방식을 채택하였다.

## 3. 휨 파괴 실험 결과 및 고찰

### 3.1 횡하중-횡변위 관계

점중 변위 반복하중을 받는 각 실험체의 하중-변위 관계를 Fig. 4에 나타내었다. 여기서 실험체의 변위는 재하점의 연직 변위를 의미한다.

Fig. 4에 나타난 바와 같이 하중 재하시 축방향 변형 구속을 받는 FFR 및 FRR 실험체의 최대 내력은 무구속 실험체인 FFF 보다 약 20% 상승하였으며, FFF에서는 재하 이력 범위 내에서 파괴에 이르지 않았으나 FFR에서는 재하 이력 범위 내에서 압축부 콘크리트의 압축파괴에 의해 파괴되었다. 한편, FRR에서는 핀 지점의 수평이동이 발생하여 계획한 대로의 하중이력을 가할 수는 없었으나 구하여진 하

중 변위 관계로부터 재하 이전의 축방향 구속이 탄성 범위 이후의 소성 거동에는 크게 영향을 미치지 않음을 알 수 있었다.

### 3.2 축방향 변형 및 축방향 구속력의 변화

무구속 실험체 FFF에서의 횡하중에 의해 생기는 축방향 변형을 Fig. 5에, 구속 실험체 FFR, FRR의 횡하중과 축방향 구속력의 관계를 Fig. 6에 나타내었다.

Fig. 5에 나타난 바와 같이 축방향 변형은 하중에 의한 휨 균열이 발생함에 따라 시작되며 이러한 축방향 변형은 거의 하중에 비례함을 알 수 있다. 그러나 소성변형이 진행함에 따라 축방향 변형이 급속히 증대하게 되며 큰 변형이 생긴 상태에서는 하중 제거 과정에서도 축 변형이 오히려 증가하는 현상을 보였다. 이러한 현상은 소성단면에 생긴 철근의 뿔힘 부분에 역 방향의 부착 저항 기구가 형성되어 뿔힘 철근의 변형에 의해 부재 변형 이력이 크게 영향을 받기 때문에 발생하는 것으로 판단된다.

Fig. 6의 결과에 의하면 축방향 변형이 구속될 경우 축방향 구속력은 재하 하중에 비례하여 압축 축으로 증가함을 알 수 있다. FFR과 FRR 실험체의 축

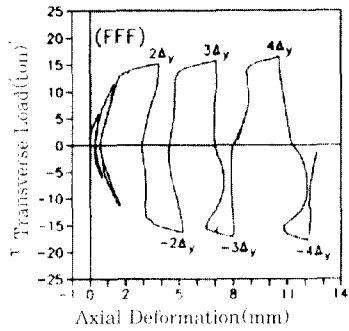


Fig. 5 Transverse load-axial displacement curve

방향 구속력을 비교해 보면, FRR에서는 최대 재하 하중의 약 50% 범위 내에서 하중 재하전의 축방향 변형 구속에 의해 발생한 인장 구속력의 영향이 존재하나 높은 하중 영역에 이르면 인장 구속력의 영향이 없어지고 두 실험체의 거동이 유사하게 되는 것을 알 수 있다.

### 3.3 축방향 변형 구속하에서의 휨 강성의 변화

구속 조건이 다른 각 실험체의 휨 강성을 비교하기 위하여 부재 항복하중 이전 상태에서의 하중-변위 곡선을 Fig. 7에 나타내었다. Fig. 7에는 각 실험체의 임계단면에서의 응력 상태를 나타내기 위하여 주철근 변형률 값을 함께 나타내었다.

Fig. 7에 나타난 결과에 의하면 재하전에 구속을 받지 않은 FFF 및 FFR 실험체의 원점 부근 강성은 동일 하지만 재하시의 구속조건에 따라 휨 균열 발생 이후의 강성이 차이가 남을 알 수 있다. 이에 비해 재하전의 변형 구속에 의해 발생한 인장 축방향력의 영향으로 관통 균열이 발생한 FRR의 강성은 초기에는 다른 실험체 보다 낮은 값을 나타내지만 하중의 증가

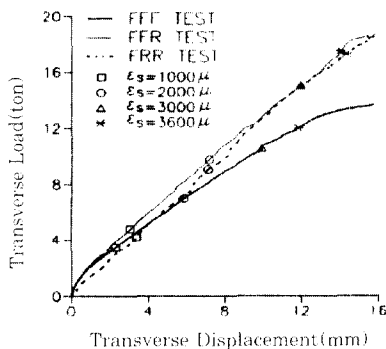


Fig. 7 Comparison of stiffness

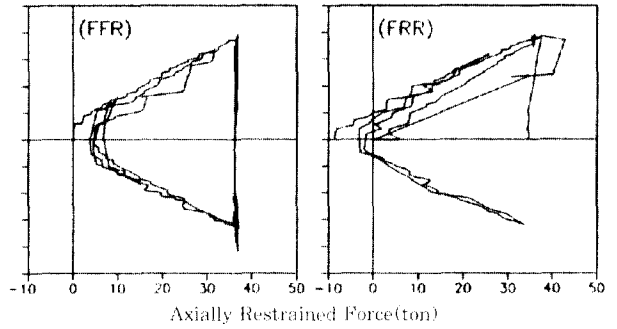


Fig. 6 Transverse load-restrained axial force curves

에 따라 구속력이 인장측에서 압축측으로 이동함으로써 FRR의 강성은 증대하여 결국 FFR과 동일한 강성을 갖게 됨을 알 수 있다. 즉, 축방향 변형 구속에 의해 발생하는 축방향 압축 구속력이 횡방향 변형을 제한함으로써 부재의 휨 강성이 증가하게 된다. 한편, 주철근 변형률 값을 비교해 보면 축 압축력에 의해 동일 재하 하중에서의 철근 변형률이 크게 저감되는 것을 알 수 있다. 즉, 축 변형률 구속하에서의 휨 부재는 무구속 부재보다 주철근의 항복이 늦게 나타나므로 설계시 부재의 파괴 모드에 대한 변화를 검토할 필요가 있는 것으로 판단된다.

### 3.4 항복강도 및 소성특성

재하시에 받는 축방향 구속이 부재의 항복강도와 항복변위에 미치는 영향을 비교하기 위하여 각 실험체의 항복하중과 항복변위를 구하여 Table 2에 나타내었다.

Table 2에서 알 수 있는 바와 같이 재하시에 구속을 받지 않은 FFF의 항복하중과 항복변위는 구속을 받은 실험체에 비해 낮은 값을 나타내었으며 축방향 구속에 의해 항복점의 하중과 변위가 상승함을 알 수 있다. 본 실험 범위 내에서의 축방향 구속을 받는 실험체의 항복강도는 무구속 실험체 보다 약 40% 증가함을 알 수 있다.

Table 2 Comparison of yielding load and displacement

Specimen	Yielding load(ton)	Yielding displacement(mm)
FFF	13.5	13.2
FFR	19.3	17.0
FRR	19.2	17.1

Table 2의 값을 이용하여 각 실험체에 대한 항복

변위 이후 소성 영역에서의 부재 거동을 검토하여 그 결과를 Fig. 8에 나타내었다. Fig. 8에서는 하중을 위에서 밑으로 가한 결과를 (+)로 반대 하중을 (-)로 나타내었으며, 기준이 되는 항복점은 (+)하중시의 값을 사용하였다. Fig. 8의 점선은 앞에서 설명한 바와 같이 구속 조건을 완전 변형 구속에서 일정 축 하중 구속 조건으로 변경한 때의 실험체 변위를 나타내고 있다.

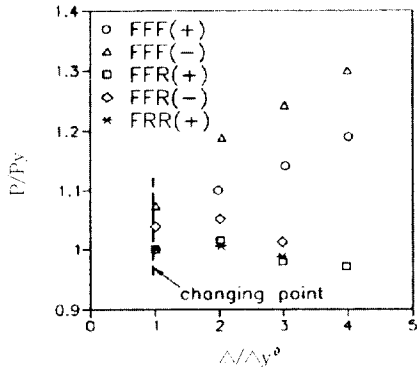


Fig. 8 Effect of axial restraint on plastic behavior

Fig. 8에 따르면 구속조건 변경시의 변위 값은 항복변위 값과 거의 일치함을 알 수 있다. 즉, 완전 축 변형 구속 조건하에서는 소성거동이 억제되지만, 구속 조건을 일정 축력 구속으로 변경함에 따라 그 이후의 축방향 변형을 허용하게 되고, 소성거동이 시작됨을 알 수 있다.

따라서 본 부재의 축방향 변형이 완전히 구속된 상태에서 파괴하중까지 재하되면 부재는 보다 높은 하중상태에서 급격한 압축파괴에 이르게 될 것으로 예상된다.

한편, 소성거동에서의 휨 내력을 비교하여 보면, 무구속 실험체는 항복 이후에도 내력이 상승하는 형태를 나타내었으나 구속 실험체에서는 항복 이후의 내력 증진이 거의 없는 소성거동을 나타내었다.

### 3.5 축방향 변형률 분포

휨하중에 의해 발생하는 부재의 축방향 변형률 분포를 검토하기 위하여 상·하단 주철근 위치에서의 축방향 구간별 변형을 변위 게이지(CDP)와 콘택트 게이지(CONT)를 사용하여 각 하중 단계 별로 측정하였으며, 그 결과의 일례를 Fig. 9에 나타내었다.

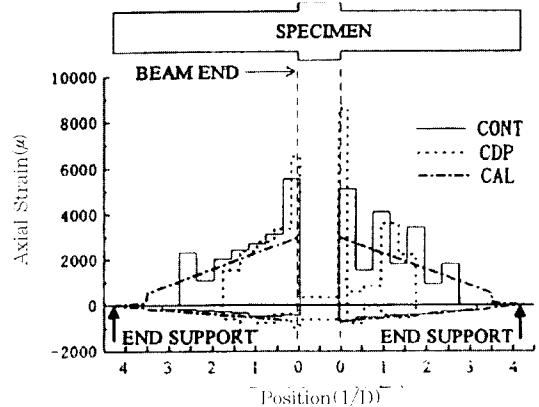


Fig. 9 Axial strain distribution of FFF (transverse load=11.5 ton)

또한, 각 계측값의 신뢰성을 명확히 하기 위하여 탄성 휨 해석으로부터 축방향 구속 상태를 고려하여 구한 부재의 축방향 변형률 분포를 함께 나타내었다.

Fig. 9의 CDP와 CONT에 의한 계측값을 비교해 보면 전체적인 경향은 잘 일치함을 나타내고 있으나, 측정 구간 내의 균열 유무에 의해 측정치가 크게 변화하므로 측정 구간이 다른 양자의 값에는 다소 차이가 있음을 알 수 있다. 특히 부재의 임계 단면 부근에서의 변형률 분포는 균열의 발생 장소와 게이지 측정 길이에 의해 크게 영향을 받음을 알 수 있다.

휨 해석으로 구한 계산치에 의하면 균열 발생에 따른 유효 단면 감소에 의해 축방향 변형률이 급상승하여 부재의 회전각이 크게 변하는 것을 알 수 있다. 한편, 계산치와 각각의 측정치를 비교해 보면 균열 위치에 따른 편차는 있으나 계측한 층(layer)에서의 값은 잘 일치함을 알 수 있다.

구속 실험체(FFR, FRR)에 있어서는 FFF와 거의 동일한 경향을 나타내었는데, 축방향 압축력에 의한 변형률 만큼 압축축으로 이동하는 형태를 보였다.

구속을 받지 않는 실험체에 있어서는 탄성 휨 해석으로부터 구한 곡률 분포와 모멘트와의 관계로부터 휨 하중과 단면 중심축 변형률과의 관계를 구하여 FFF의 실험결과와 비교한 결과를 Fig. 10에 나타내었다. 휨 해석에 의한 축방향 변형은 임계단면에서의 주철근이 항복하는 하중까지 단계 재하하여 구하였다.

Fig. 10에 따르면 계산결과가 실험결과를 정도 높게 재현하였으며 축방향 변형은 휨하중에 의한 균열 발생과 함께 시작되고, 임계단면의 주철근이 항복하

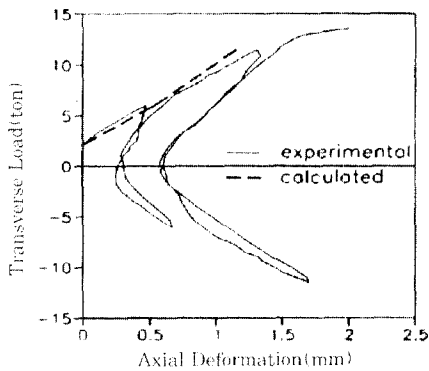


Fig. 10 Calculated axial deformation curve

기 전까지는 무시할 수 없을 정도의 축방향 변형이 발생함을 알 수 있다.

#### 4. 전단 파괴 실험 결과 및 고찰

##### 4.1 전단력과 변위 관계

전술한 바와 같이 내측 스펠에 있어서 역대칭 모멘트가 발생하도록 재하한 SFF, SFR, SRR 실험체에서의 전단 스펠 구간내 전단력과 상대 변위의 관계를 구하여 Fig. 11에 나타내었다. 여기서 상대변위란 중앙 재하점과 중간 재하점 간의 평균 상대변위를 의미한다.

Fig. 11의 곡선을 비교해 보면, 휨 균열이 발생하지 않은 전단력 5 ton 정도까지의 초기 강성은 재하 전에 구속을 받지 않은 SFF와 SFR 실험체가 거의 동일한 값을 보였으며 재하전의 구속에 의해 관통 균열을 갖고 있던 SRR의 초기 강성은 다른 실험체에 비해 낮은 것을 알 수 있다. 그러나, 축방향 변형의 완전 구속에 의해 압축 구속력이 증가하면 앞 절의

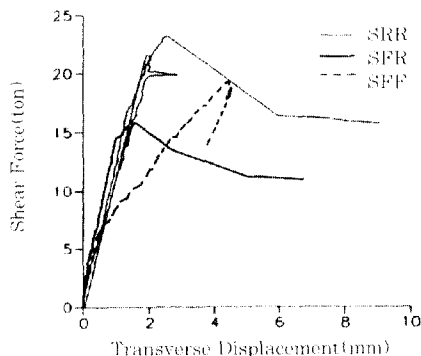


Fig. 11 Shear force - transverse displacement curve

휨 파괴 실험에서 보인 경향과 같이 SFF와 SRR의 강성은 역전되고 SRR의 강성이 증대되어 SFR에 근접하는 추이를 보이며 SFR과 SRR에서의 전단력과 변위 관계가 전단내력 직전까지 거의 직선적인 관계를 갖고 있음을 알 수 있다.

Fig. 11의 곡선으로부터 구한 각 실험체의 전단내력 및 그 때의 변위와 임계 단면에서의 주철근 변형률 값을 Table 3에 나타내었다. Table 3에는 비교를 위해 일본 건축학회의 "철근 콘크리트조 건물의 중공 강도형 내진설계지침·동해설"<sup>14)</sup>에 따른 축력을 무시한 조건하에서의 계산치를 함께 나타내었다. 이때 콘크리트의 유효 압축강도( $f_c'$ )는  $f_c' = 1.7 \times \nu f_c^{0.46} = 29.2 (MPa)$ 로 하였다. 또한, 실험결과로부터 얻어진 전단내력과 축력하에서의 최대 주철근 변형률을 계산하여 함께 나타내었다.

Table 3 Comparison of shear capacity and transverse displacement

Specimen	Experimental value			Calculated value	
	Shear capacity (ton)	Transverse displacement (mm)	Stirrup strain (%)	Shear capacity (ton)	Stirrup strain (%)
SFF	19.3	4.53	2.613	20.7	2.473
SFR	15.9	1.58	1.019		1.323
SRR	23.0	2.48	1.323		1.673

Fig. 11과 Table 3에 따르면 SFF 보다 SRR의 전단내력이 약 19% 큰 값을 나타내어 축 구속에 의해 전단내력이 향상되었음이 인정된다. 이에 비해 SFR의 경우에는 축 구속을 받았음에도 불구하고 SFF 보다 낮은 전단내력을 나타내었는데 균열 발생 상태 및 전단 보강근의 변형률을 비교해 본 결과, 전단 균열의 진전이 거의 없이 주 전단 균열의 중앙에 위치하는 스테럽이 파단되어 있어 SFR의 전단파괴는 스테럽의 파단에 의해 유발된 것으로 추측된다.

이번 실험 결과로부터 축방향 구속력이 전단내력에 미치는 영향을 확인하지는 못하였으나 지금까지의 견지에서 판단하면 재하시만 축방향 구속을 받는 SFR 실험체에 작용한 축압축력은 전단내력을 향상시키는 요인으로 작용하리라 예상되며 SRR 실험체의 결과에 의하면 재하전의 인장 구속력과 이에 의해 발생한 관통 균열은 재하시의 압축 구속력에 의해 상쇄되어 전단내력을 저하시키는 요인이 되지 않는 것

으로 판단된다.

#### 4.2 축방향 변형 및 축방향 구속력의 변화

주철근의 항복이 일어나기 전에 전단파괴를 일으키는 실험체에서의 횡하중에 의한 축방향 변형을 Fig. 12에, 축방향 변형의 완전 구속에 따른 전단력-축방향 구속력 관계를 Fig. 13에 나타내었다. Fig. 13에

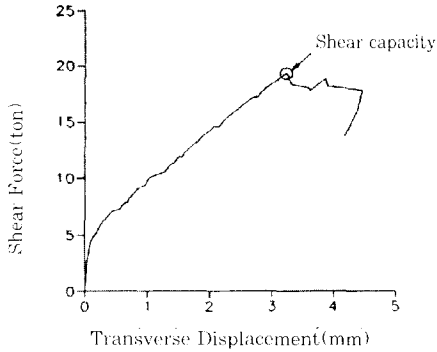


Fig. 12 Shear force-axial displacement curve (SFF)

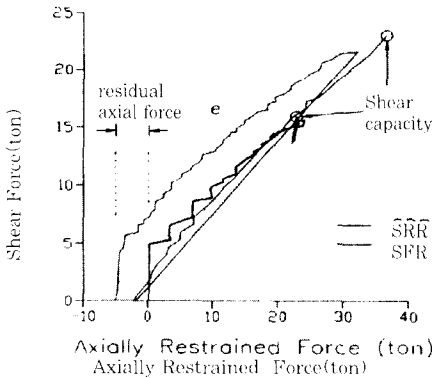


Fig. 13 Shear force-restrained axial force curve

서는 축방향 구속력인 압축력을 (+)로 나타내었다.

Fig. 12에 따르면 휨파괴 부재에서와 같이 휨 균열이 발생하기 전까지는 축 변형이 거의 생기지 않으나 휨 균열의 생성 이후부터는 재하하중에 비례하여 축 변형이 발생함을 알 수 있다. Fig. 13의 전단력-구속력 관계를 살펴보면, 축 구속력은 축방향 변형의 발생에 의해 시작되어 재하하중에 비례하여 발달됨을 알 수 있다. 이때, Fig. 13의 SRR과 SFR의 동일 재하 전단력에 대한 축 구속력을 비교해 보면 SRR의 재하 전 축방향 구속에 의해 받았던 잔류 구속력 만큼 SFR의 파단시 까지 차이가 나는 것을 알 수 있다.

즉, 주철근의 항복 전에 전단파괴를 일으키는 부재에 있어서는 재하전 축 구속력의 영향을 받는 상태에서 파단에 이르게 되므로 재하전 구속력과 재하시 구속력을 포함하는 검토가 필요하다는 것을 알 수 있다.

#### 4.3 재하시 전단보강근의 변형을 변화

하중 재하에 따른 각 실험체의 전단 구간에 설치되어 있는 전단 보강근의 변형을 변화를 조사하여 Fig. 14에 나타내었다. Fig. 14의 범례에 표시한 숫자는 각 재하시의 전단구간에서의 전단력을 나타내고 있다.

Fig. 14의 결과를 비교해 보면 각 실험체의 전단 보강근 중에 최초로 항복변형률( $\epsilon_y = 200\mu$ )에 도달한 때의 전단력은 축변형 구속조건에 관계없이 거의 동일한 15.2ton임을 알 수 있다. 즉, 전단보강근이 부담하는 전단력은 축방향 구속에 의해 거의 영향받지 않음을 나타내고 있다.

재하에 따른 각 실험체에서의 전단보강근의 변형을 변화를 살펴보면 재하전에 다수의 평통균열이 발

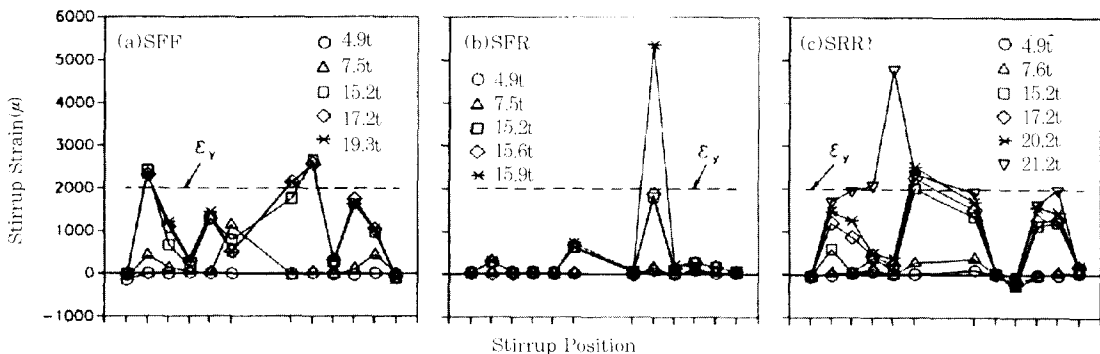


Fig. 14 Distribution of stirrup strain



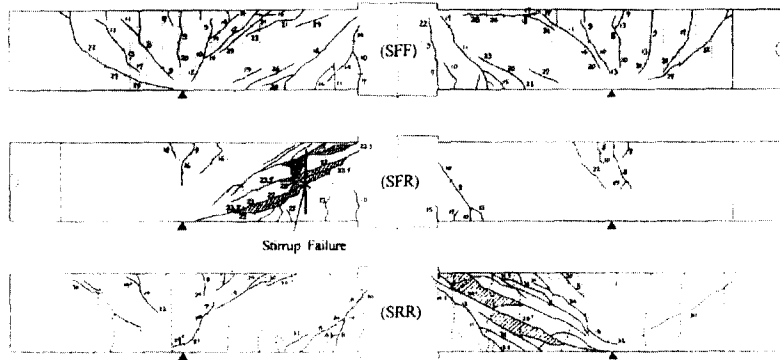


Fig. 15 Crack pattern of specimen

생한 SRR의 경우 하중의 증가에 따라 전단보강근의 변형률이 항복변형률에 도달하면 주변보강근의 변형률도 점차 증가하여 계속적으로 항복변형률에 도달하는 경향을 보였으며 SFF의 경우에도 거의 동일한 현상을 나타내었다.

이에 비해 SFR의 경우에는 항복변형률에 도달한 전단보강근 이외의 보강근에는 거의 변형률의 진행이 없는 상태에서 전단파괴에 이르는 현상을 보였으며 변형률이 집중된 전단보강근이 파단하였다. 이러한 특이 거동에 대해서는 더욱 검토할 필요가 있으나 SFR의 전단내력이 특히 낮았던 원인이 이러한 현상과 관련되어 있는 것으로 판단된다.

#### 4.4 균열 형상 비교

재하에 의해 전단파괴를 일으킨 각 실험체의 균열 발생 현상을 Fig. 15에 나타내었다. Fig. 15의 SRR에 나타난 점선은 재하전에 받은 인장 구속력에 의해 발생한 균열이며, 각 실험체에 기입된 숫자는 재하하중값을 나타내고 있다.

Fig. 15에 따르면 SFF의 경우에는 전단균열이 분산되어 발생하였으며 전단균열 발생 후 부작균열로 이어지는 파괴현상을 보였다. 이에 비해 구속을 받는 SRR과 SFR의 경우에는 축압축력의 영향을 받아 재하점을 직선으로 연결하는 전단균열이 파괴모드를 지배하는 형태를 보였다.

재하전 인장 구속력에 의해 발생한 관통 균열의 최대 폭이 0.08mm인 본 실험의 범위에서는 관통균열이 사인장 전단균열의 형상에 영향을 미치지 않으며 균열면에서의 전단력 전달을 기대할 수 있음을 나타내었다.

#### 5. 결론

고강도 철근콘크리트 휨부재의 휨 전단거동에 미치는 축방향 구속의 영향을 검토한 결과를 요약하면 다음과 같다.

1) 본 실험결과에서는 축변형 완전구속 조건하에서의 휨부재는 횡하중에 비례하여 증가하는 축압축력의 영향을 받아 무구속 조건보다 휨내력이 20% 이상 증대하며 휨균열 발생에 따른 휨강성의 저하가 작다. 콘크리트 타설 직후부터 축방향 변형이 구속된 경우, 재하전의 인장 구속력에 의해 발생한 관통균열의 영향을 받아 초기의 강성은 무구속 휨부재 보다 낮으나 재하하중의 증대에 따른 축압축력의 증가로 재하전 구속의 영향은 저하한다.

2) 축변형 구속 휨부재에서는 축압축력의 영향을 받아 변형능력이 제한되고 소성거동이 지연되며 휨 압축 파괴에 의한 파단 가능성이 커진다.

3) 재하전의 변형구속에 의해 발생한 균열은 재하에 의한 휨균열의 유발점이 되지만 재하에 따른 휨 전단균열 형상에는 거의 영향을 미치지 않는다.

4) 수화열이나 건조수축을 구속하므로써 발생하는 재하전의 인장구속력에 의해 생긴 관통균열의 균열 폭이 약 0.1 mm 미만인 경우, 그 관통균열이 전단내력 및 전단거동에 미치는 영향은 거의 없다.

#### 참고문헌

1. Johansen, K.W., "Yield Line Theory". Cement and Concrete Association, London, 1962.
2. Park, R., "Ultimate Strength of Rectangular Slabs

- under Short-term Uniform Loading with Edges Restrained against Transverse Movement" Proc., of the Inst. of Civil Engrs., London, No.28, 1964, pp.125-150.
3. Desayi, P. and Kulkarni, A.B., "Load - Deflection Behavior of Restrained R/C Slabs", J. of Struc. Div., ASCE, V.103, No.2, 1977, pp.303-312.
  4. Braestrup, M.W. and Morley, C.T., "Dome Effect in RC Slabs-Elastic Plastic Analysis", J. of Struc. Div., ASCE, V.106, No.6, 1980, pp.1255-1262.
  5. Chengsheng, O. and Wimal, S., "RC Rectangular Slabs with Edge Restraints", J. of Struc. Div., ASCE, V.113, No.11, Nov. 1987, pp.2146-2165.
  6. 小林清司, "鐵筋コンクリート一方向スラブの耐力とたわみに及ぼす面内壓軸力のアーチ効果について", 構造工學論文集, V.34B, 1988, pp.281-294.
  7. 黒正清治他, "高軸力下鐵筋コンクリート柱の耐震性能の評価に関する研究", 日本建築學會大會學術講演梗概集C, 1985, pp. 441-442.
  8. Wight, J.K.,(ed), "Earthquake Effects on Reinforced Concrete Structures", ACI Special Publication, SP84, 1985.
  9. Megget, L.M. and Fenwick, R.C., "Seismic Behavior of a Reinforced Concrete Portal Frame Sustaining Gravity Loads", Bulletin of the New Zealand National Society for Earthquake Engineering, V.22, No.1, 1989, pp.39-49.
  10. 藤澤正視外, "T形梁のじん性におよぼす筋筋量の影響(その1,その2,その3)-高層壁式ラーメン構造に関する研究-", 日本建築學會大會學術講演梗概集C, 1987, pp. 205-208, pp.225-226.
  11. 坂田弘安, 林靜雄和, 和田章, 黒正 治, "軸方向變形の拘束効果を考慮した鐵筋コンクリートはりの弾塑性性狀に関する實驗研究", 日本建築學會構造系論文報告集, No.380, Oct. 1987, pp.45-55.
  12. 坂田弘安, 和田章, "多層多スパン鐵筋コンクリート平面骨組模型の實驗-曲げ降伏するはりの軸方向伸びを考慮した鐵筋コンクリート平面骨組の弾塑性性狀に関する研究(第1報)", 日本建築學會構造系論文報告集, No.403, Sep. 1989, pp.45-55.
  13. 坂田弘安, 和田章, "多層多スパン鐵筋コンクリート平面骨組模型の解析-曲げ降伏するはりの軸方向伸びを考慮した鐵筋コンクリート平面骨組の弾塑性性狀に関する研究(第2報)", 日本建築學會構造系論文報告集, No.407, Jan. 1990, pp.35-45.
  14. 田村隆弘, 重松和美, 原隆, 中野雅治, "軸方向引張りを受けるRC梁のせん断耐力に関する實驗的研究", コンクリート工學論文集, V.2, No.2, 1991, pp.153-160.
  15. 楊恩翼, 森田司郎, "若材齡において一軸方向拘束を受けるコンクリートの特性", コンクリート工學論文集, V.7, No.1, 1996, pp.169-177.
  16. 양은익, "축방향 구속을 받는 초기재령 고강도콘크리트 부재의 특성", 대한토목학회 논문집, Vol.17, No.1-4, Jul. 1997, pp.477-486.
  17. 日本建築學會, "鐵筋コンクリート構造物の終局強度耐震設計指針同解説", 1990, 340p.

## 요 약

본 연구는 축방향 변형 구속이 고강도 콘크리트 휨부재의 휨 전단 거동에 미치는 영향을 조사하기 위한 것으로, 수화열과 건조수축에 기인하는 축방향 변형과 재하에 의한 축방향 변형을 구속한 부재 및 무구속 부재에 대하여 휨파괴와 전단파괴 실험을 실시하였다.

타설 직후부터 축변형을 구속한 실험체의 재하시 강성은 재하전의 구속으로 발생한 관통균열의 영향을 받아 무구속 실험체의 강성보다 낮지만, 재하시의 축변형 구속에 따른 압축구속력의 상승으로 인하여 강성의 크기는 역전되었다.

축변형이 완전히 구속된 휨부재의 휨강도는 무구속 부재보다 20% 이상 상승하지만 변형능력은 감소하는 것으로 나타났으며, 재하전의 축변형 구속에 의한 관통균열(균열폭 0.1 mm 미만)은 부재의 전단내력 및 전단균열 진전 형상에 영향을 미치지 않았다.

(접수일자 : 1997. 10. 20)