

# 반복하중을 받는 고강도 철근콘크리트 보의 전단피로 거동

## Shear-Fatigue Behavior of High-Strength Reinforced Concrete Beams under Repeated Loading

박 계 환\* · 박 종 건\*  
Kwak, Kae Hwan · Park, Jong Gunn

### Abstract

Recently structural damage has been frequently observed in reinforced concrete bridges due to repeated loads such as vehicular traffic and due to continual overloads by heavy duty trucks. Therefore, the purpose of this experimental study is to investigate the damage mechanism due to fatigue behavior of high-strength reinforced concrete beams under repeated loads. From the test results, the relation of cycle loading to deflections on the mid-span, the crack growth and the modes of failure according to cycle number, fatigue life and S-N curve were observed through the fatigue test. Based on the fatigue test results, high-strength reinforced concrete beams failed to 57~66 percent of the static ultimate strength. Fatigue strength about two million cycles from S-N curves was certified by 60 percent of static ultimate strength.

### I. 서 론

콘크리트 구조물이 점차 대형화, 고층화, 장대화 및 특수화됨에 따라 고강도 콘크리트의 사용이 급속하게 증가하고 있다. 국내에서도 대형 토목구조물인 교량구조물 뿐만 아니라 건축구조물인 기둥, 보 등 복잡한 콘크리트 구조물에 대한 사용성 증가로 앞으로 고강도 콘크리트의 수요가 급증할 것으로 예상된다.<sup>1)</sup> 현재 사용중인 철근콘크리트 보의 전단강도에 관한 ACI 318-89 규준식은 압축강도의 범위가 140~420kgf/cm<sup>2</sup>의 콘크리트를 기준으로 이루어졌기 때문에 콘크리트 압축강도가

800kgf/cm<sup>2</sup> 이상인 고강도 철근 콘크리트 보에 대해서는 현행의 설계법에 대한 적합성 여부를 확인할 필요성이 있게 되었다.<sup>2)</sup>

최근, 자동차 교통량의 증가와 차량하중의 증대로 인한 철근콘크리트 구조물의 손상이 많이 발생한다. 이들 손상원인은 하중조건, 구조조건, 시공조건 등이나, 과다, 과적차량 등 피로에 의한 안전성 및 내하력 저하가 주원인이다. 재료의 피로파괴는 반복되는 응력 또는 변형을 받아 정적파괴 응력보다 훨씬 낮은 응력에서 발생하고 대부분 급작스런 취성파괴 양상을 나타낸다. 종래에는, 콘크리트의 내구성은 재료강도의 관점에서 얻은 동결

\* 원광대학교 공과대학

키워드 : 피로강도, 반복횟수, 피로수명, 처짐, 전단보강철근, S-N곡선, 정적극한하중

용해 등 기상작용이나 알칼리 골재반응 등 화학작용에 대한 재료적 내구성과 염해에 의한 철근의 부식(중성화, 염화물)등 콘크리트 구조로서의 기능저하, 즉 구조적 내구성으로 구별되어 취급되어 왔으나 최근에는 단지 반복하중하에 있어서 재료강도로서 생각해서는 안 되고 변동 반복하중에 의한 콘크리트 구조물의 성능열화현상인 피로현상을 내구성 문제로서 생각할 수 있다. 반복하중작용은 건축구조물보다는 토목구조물에서 많이 발생하고 변동 반복하중에 의한 성능저하의 형태는 여러가지가 있으나 철도구조물, 도로구조물, 해양구조물, 하천구조물에 따라 다르게 나타난다. 철도구조물에서는 반복하중 및 그 작용위치가 명확하게 정의될 수 있으나, 도로구조물에서는 하중이 어느 범위내에 분포하며 작용위치도 철도구조물처럼 명확하지 않다. 해양구조물에서는 파력 등 외력 변동이 다른 구조물보다 훨씬 크며, 더욱이 구조물의 입지조건은 해상이나 해수 중이 되는 것을 고려하면 피로손상의 면에서 가장 가혹한 환경하에 있다고 할 수 있다. 이와 같은 구조물은 주로 실내실험결과를 원칙으로 하며 반복하중에 의한 피로손상이 예상되므로 구조물설계에 있어서 피로한계상태에 대하여 검토하는 것이 필요하다.

따라서 본 연구에서는 고강도 철근콘크리트 보의 구조적인 전단피로거동을 파악하기 위하여 피로실험을 수행하였다. 전단철근이 없는 경우와 전단철근이 있는 경우로 구분하여 고강도 철근콘크리트 보의 극한하중, 초기 휨균열하중 및 초기 사인장균열하중 등을 측정하였다. 실험결과로 부터 반복횟수와 처짐관계, 반복횟수와 변형률관계 그리고 반복횟수에 따른 균열성장과 파괴양상을 관찰하였으며 피로수명과 반복횟수의 관계를 정립하기 위하여 S-N곡선을 작성하였다.

## I. 피로강도와 S-N곡선

### 1. 피로강도

피로강도는 주어진 횟수만큼 반복하중을 가했을

때 파괴시의 응력을 정적인 극한강도에 대한 백분율로 나타낸다. 콘크리트와 강재의 피로과정은 미세균열의 발생과 균열성장 그리고 극부적인 미세균열의 발생 및 전파과정인 것을 알 수 있으나 발생기구에 대해서는 아직 불명확한 점이 많아서 실험적으로 피로강도를 검토하는 경우가 많다. 피로강도는 응력의 수준, 최대응력, 최소응력, 응력진폭, 재료특성에 따라서 영향을 받는다. 이 중에서 하중폭에 의한 영향이 가장 중요한 것으로 알려져 있다. 많은 금속재료는 피로한도를 가지지만 콘크리트의 경우에는 피로한도가 가지지 않기 때문에 미리 반복횟수를 정하고 이에 대한 최대응력을 피로강도로 정하고 있다. 또한 어느 특정의 반복횟수에 견딜 수 있는 최대응력을 피로강도(Fatigue strength)라고 부르고 무한횟수의 반복응력에 견딜 수 있는 한도를 피로한도(Fatigue limit) 또는 내구한도(Endurance limit)라고 한다. 피로한도는 응력집중이 없는 평활한 응력상태의 금속재료에서는 볼 수 있지만 콘크리트에서는 반복횟수가 1,000만회의 범위내에서는 아직 피로한도가 확인되지 않고 있다. 콘크리트에 있어서 200만회 피로강도는 정적극한강도의 55~65% 정도라고 한다. ACI committee 215 보고서<sup>3)</sup>에 따르면 반복횟수가 증가 할수록 콘크리트의 피로강도가 감소한다. Fig. 1에서 콘크리트의 S-N곡선은 반복횟수가  $10^2 \sim 10^7$ 의 범위에서 거의 선형적임을 알 수 있다. 또한

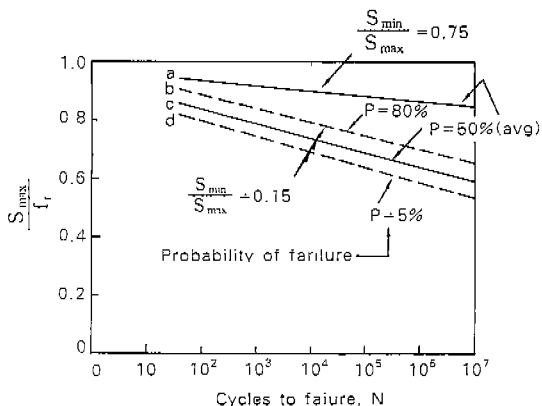


Fig. 1. Fatigue strength of plain concrete beams

피로실험을 충분히 주의하여 행한 실험에도 상당히 편차가 발생하므로 피로강도를 정확히 평가하기 위해서는 Fig. 1에 나타내듯이 확률론적인 관점으로부터 검토가 필요하다.

## 2. S-N곡선

피로실험은 일반적으로 주어진 반복횟수에 저항할 수 있는 정적극한하중의 비율로 나타낸다. 즉, 응력 S와 파괴까지의 반복횟수 N와의 관계로서 표시된다. 이 곡선을 S-N 곡선이라고 한다. 콘크리트의 피로파괴에 있어서 응력의 수준은 응력-피로수명 곡선으로 나타낸다. 여기서 종축은 응력을 횡축은 파괴시 까지의 반복횟수를 대수준급으로 나타낸다. 보통, 재료의 피로실험은 Fig. 3과 같이 일정크기의 반복응력(S)을 가했을 때 재료가 피로 파괴할 때까지의 반복횟수(N)를 측정하고 이와 같은 관계를 Fig. 2에서 구한다. Fig. 2에서 압축, 인장, 휨강도에서 100만회에 대한 보통 콘크리트의 피로강도는 최소응력 zero에서 정적극한강도의 50%에서 파괴가 일어나지 않고 반복횟수 1,000만회에서도 견딘다. 또한 최소응력이 정적극한강도의 15%라면 피로파괴를 일으키는 최대하중은 정적극한하중의 57% 정도라고 한다. 일정 반복응력의 크기는 최대응력( $S_{max}$ ), 최소응력( $S_{min}$ ), 평균응력( $S_m$ ), 응력진폭( $S_r$ ) 중에서 2가지를 정하면 좋다. S-N 곡선에서 종축의 반복응력 S는 응력이 반복함에 따라 발생하는 피로현상이기 때문에 응

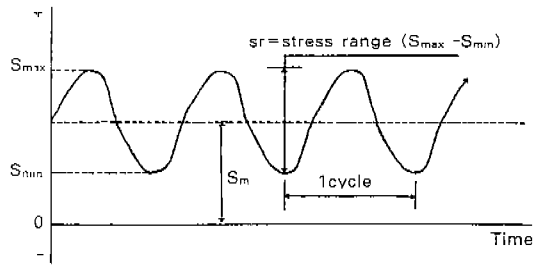


Fig. 3. Alternating stress

력진폭( $S_r$ )의 크기를 얻는 것이 많다. 이때 최소응력( $S_{min}$ ) 및 평균응력( $S_m$ )은 일정하게 구할 수 있다.

## III. 실험

### 1. 사용재료

#### 가. 고강도 콘크리트

본 실험에 사용한 시멘트는 Type I 인 보통포틀랜드 시멘트이었다. 잔골재는 금강에서 채취된 강모래로서 비중은 2.62, 조립률은 2.75이었고, 굵은 골재는 최대치수가 19mm인 쇄석을 사용하였다. 보의 시험체에 사용된 철근은 이형철근으로서 비교적 고강도인 KSD 40 철근을 사용하였으며 인장철근의 특성은 Table 1과 같다.

Table 1. Properties of reinforcement

Bar size	Nominal area (cm <sup>2</sup> )	Yield strength (kgf/cm <sup>2</sup> )	Ultimate tensile strength (kgf/cm <sup>2</sup> )	Modulus of elasticity (kgf/cm <sup>2</sup> )
D10	0.713	2,777	4,067	2.04 × 10 <sup>4</sup>
D19	2.865	4,150	5,020	2.04 × 10 <sup>4</sup>

#### 나. 배합설계

고강도 콘크리트를 제조하기 위하여 시험배합을 통해 최적배합비를 얻었으며, 고성능 감수제의 첨가량은 슬럼프값이 10 ± 2cm가 되도록 조절하여

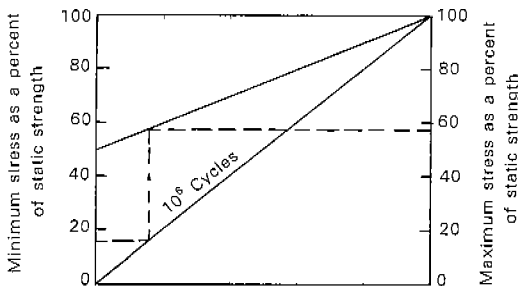


Fig. 2. Fatigue strength of plain concrete in tension, compression, or flexure

반복하중을 받는 고강도 철근콘크리트 보의 전단피로 거동

Table 2. Mix proportion and compressive strength of concrete

Max. size (mm)	Slump (cm)	W/C+SF (%)	S/a (%)	Replacement proportion of SF (%)	Mix proportions(kgf/m <sup>3</sup> )						Compressive strength(kgf/cm <sup>2</sup> )		
					W	C	SF	S	G	SP	3 days	7 days	28 days
19	10±2	27	35	10	160	533	59.2	610	1133	1.0 %	483	650	790

SF : Silica fume, SP : Superplasticizers

Table 3. Details of test specimen

Name of beams	$\sigma_{ck}$ (kgf/cm <sup>2</sup> )	Beam size (cm)	Longitudinal steel bars (mm)	Vertical steel bars (mm)	Shear span ratio (a/d)	Longitudinal steel content ( $\rho_w$ , %)
HIIAF1	790	15×30×190	φ19	None	2.8	3.05
HIIAF2	"	"	"	None	2.8	"
HIIBF1	"	"	"	φ10	2.8	"
HIIBF2	"	"	"	φ10	2.8	"
HIICF1	"	"	"	φ10	2.8	"
HIICF2	"	"	"	φ10	2.8	"
HIIIAF1	"	15×30×240	"	None	3.6	"
HIIIAF2	"	"	"	None	3.6	"

H : High strength concrete

II,III : Shear span ratio(a/d=2.8, 3.6)

A, B, C : The number of stirrups(A : none, B : six-stirrups, C : twelve stirrups)

F1, F2 · · · : Beam number

사용하였다. 혼화제로서 실리카흄을 사용하였으며 사용한 제품은 노르웨이산 Elkem microsilica 초미분말 실리카 제품이다. 또한 고성능 감수제는 암갈색의 액상으로 비중이 1.21, PH 8.0인 Power con-100을 사용하였다. 이에 대한 배합설계 결과는 Table 2와 같다.

## 2. 시편제작

고강도 콘크리트를 사용한 철근콘크리트 보의 전단피로거동을 규명하기 위하여 단면 15×30cm

인 보를 길이별로 다르게 제작하였다. 시험체의 주요 변수들을 고려하여 전단보강철근이 없는 경우와 있는 경우로 구분하여 시험체를 제작하였으며, Table 3과 같다. 하중에 따른 철근의 변형률을 측정하기 위하여 인장철근 및 전단보강철근에 스트레인 게이지를 부착하였으며, 사용된 스트레인 게이지의 저항은 120±0.4Ω, 게이지 Factor 값은 2.10, 2.09 였다. 보의 피로실험부재의 칫수 및 스트레인 게이지 부착 위치는 Fig. 4에서 보는 바와 같다.

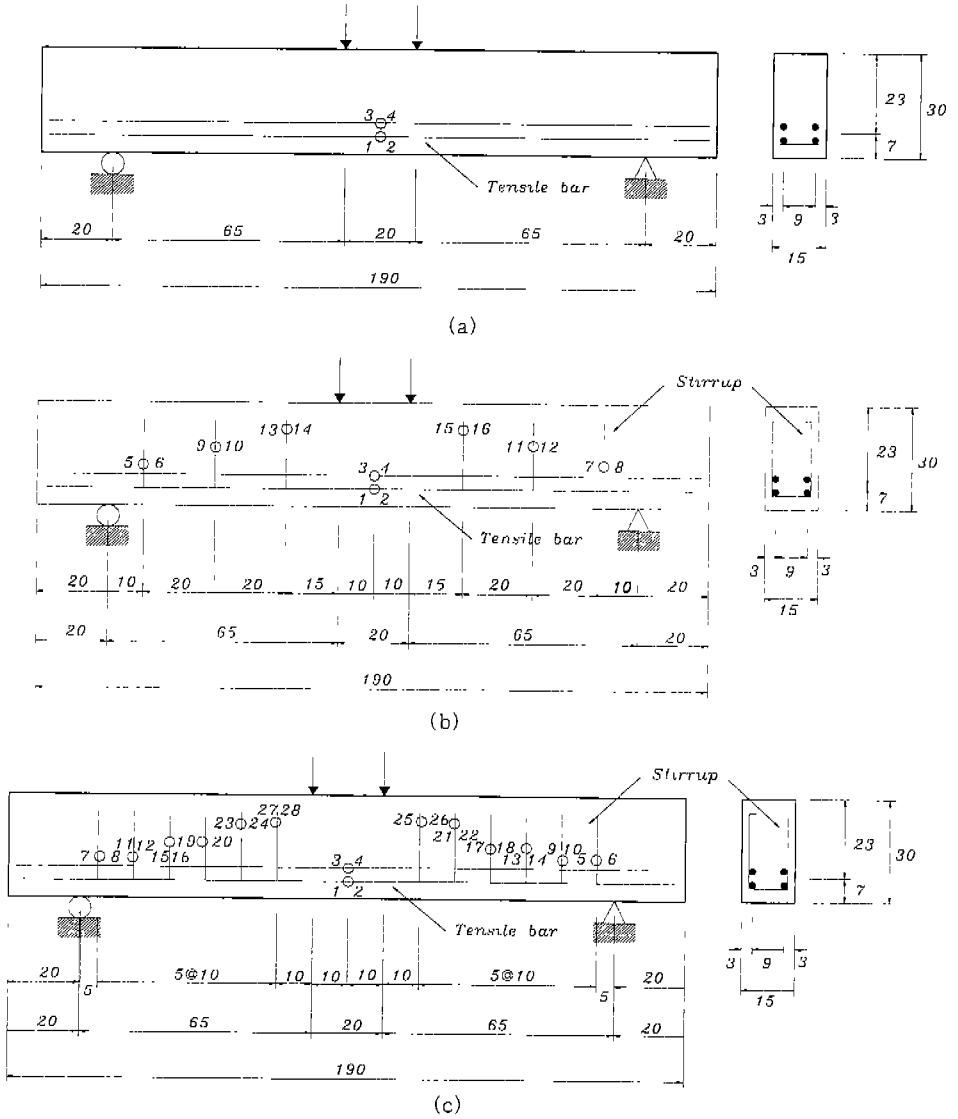


Fig. 4. Shape of fatigue test beams and loading arrangement(unit:cm)

### 3. 실험방법

#### 가. 실험장치

본 피로실험기는 M & T Korea사 제품으로 전기 유압서보 구조용 피로실험기로서 최대용량 50ton(stroke = ±150mm)이었다. 이 피로실험기는 하중 구조체(Load frame), 유압펌프, 동력전달

장치(Power supply) 및 제어박스(Control box) 등 크게 3부분으로 구성되어 있다. 제어박스(Control box)에서는 반복횟수범위 지정, 재하파형, 최대/최소 응력범위 등 여러 형태를 개인용 컴퓨터(Personal computer)에 입력시켜 작동한다. Table 4는 피로실험 시스템 기본사양을 나타내며 피로실험 설치모습의 개략도는 Fig. 5와 같다.

Table 4. Fatigue testing system

Model	Load range	Stroke	Frequency (Hz)	Wave form
MTA-50	50ton	150mm	10	Sine, Triangular, Rectangular, Ramp

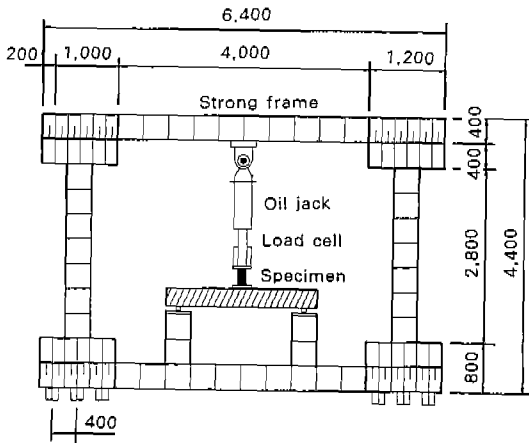


Fig. 5. Test set-up for fatigue (unit : mm)

#### 나. 재하방법

재하방법은 하중제어와 변위제어로 구분된다. 본 실험에서는 고강도 철근콘크리트 보의 전단피로거동에 관한 실험으로서 하중의 재하점 간격을 20cm로 하였으며 단순지지 조건에서 재하하였다. 가력방법은 4점 재하실험으로 피로실험의 재하는 초기 1회에서 10회까지 정적하중을 재하 하였으며 그 이후에는 반복하중의 최소값과 최대값을 일정하게 유지하였다. 반복하중에 의한 재하속도는 5Hz(300C/min)로 고정하였다. 하중재하점은 고무 패드를 깔아 하중의 전달을 이상적으로 유도하였다. 반복파형은 정현(sine)파로 하였으며 반복하중의 재하는 하중조절방식을 채택하였다. 최저 응력수준과 최고 응력수준의 비율인 응력비  $R=0.3$ 으로 일정하게 하였다.

#### 다. 측정방법

실험에 앞서 모든 시험체는 백색 페인트를 도포

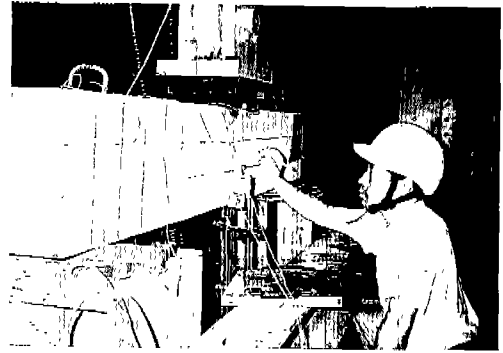


Fig. 6. Test specimen in the loading frame

후 부재의 표면에 10cm 간격으로 가로줄과 세로 줄을 그어 콘크리트의 균열성장과정을 측정할 수 있도록 하였다. 피로실험에서 초기 1회에서 10회까지 정적하중을 재하하였으며 그 이후에는 100회, 1,000회, 10,000회, 20,000회, 30,000회, 50,000회, 100,000회로 그리고 매 십만번씩 측정단위로 하여 200만회 전후로 측정하는 것을 원칙으로 하였다. 피로하중을 재하하기 전에 휨균열 및 사인장균열이 발생하도록 정적하중을 가하였다. 실험과정에서 보에 측정된 사항은 주기적으로 최대하중과 최소하중의 반복횟수에 따른 균열성장 및 파괴양상, 철근의 변형률관계, 처짐관계 등을 관찰하였다. 동적변형률 데이터 장비로서 M & T Korea 사 제품인 동적변형(Dynamic strain meter MT-16)측정기를 사용하였다. 각 부재에 작용시킨 피로하중에서 파단된 순간의 반복횟수 즉, 인장철근이 파단된 순간의 반복횟수 및 전단보강철근이 파단된 순간의 반복횟수 등을 관찰하였다. 피로실험 광경은 Fig. 6과 같다.

## IV. 결과 및 고찰

### 1. 피로실험

고강도 철근콘크리트 보의 전단피로거동 특성을 실험적으로 규명하기 위한 피로실험결과는 Table 5와 같다. 철근콘크리트 부재는 불규칙한 변동하중을 받으므로 콘크리트의 전단피로거동에 있어서

Table 5. Fatigue test results

Name of beams	$P_{min}$ (tf)	$P_{max}$ (tf)	$R^*$	Min stress (kgf/cm <sup>2</sup> )	Max stress (kgf/cm <sup>2</sup> )	Stress range (kgf/cm <sup>2</sup> )	$P_u$ (tf)	$N_f$ (cycle)	$P_{fc}$ (tf)	$P_{cr}$ (tf)	Failure mode
HI1AF1	2.88	9.6	0.70	4.17	13.91	9.74	13.7	1,100	2.1	13.0	Shear
HI1AF2	2.14	7.14	0.60	2.85	9.52	6.67	11.91	4,260	2.21	9.80	Shear
HI1BF1	5.19	17.28	0.60	7.52	25.04	17.52	28.8	1,121,000	1.5	11.5	Shear (W,T)
HI1BF2	5.72	19.05	0.65	8.29	27.61	19.32	29.3	854,000	2.1	12.8	Shear (W)
HI1CF1	5.84	19.47	0.55	8.46	28.22	19.76	35.4	3,211,000	1.3	11.7	Flexure
HI1CF2	7.29	24.28	0.68	10.56	35.19	24.63	35.7	1,231,000	1.8	12.6	Flexure (T)
HI1IAF1	1.72	5.74	0.60	2.29	7.65	5.36	9.57	2,793,000	1.96	7.23	Shear
HI1IAF2	2.87	9.55	0.60	4.16	13.84	9.68	15.91	1,496,000	2.05	12.80	Shear

는 불규칙 하중의 효과를 나타낼 수 있는 자료가 충분하지 않기 때문에 대부분 실험에서 일정한 최대반복하중과 최소반복하중 사이에서 선택하고 이상화시켜 실험한다. 여기서  $R^*$ 는 정적극한하중과 최대반복하중의 비율,  $S_r$ 는 응력범위,  $N_u$ 는 부재의 파괴시 반복횟수,  $P_{max}$ 는 최대반복하중,  $P_{min}$ 는 최소반복하중,  $P_{cr}$ 는 초기 사인장균열하중,  $P_{fc}$ 는 초기 휨균열하중, T는 인장철근의 절단, W는 스티럽의 절단이다.

본 실험에서 얻은 피로실험결과 고강도 철근콘크리트 보는 정적극한강도의 57~66%에서 파괴되었고 S-N 곡선으로 부터 반복횟수 200만회에 대한 피로강도는 정적극한강도의 60% 전후라고 판단된다. Fig. 7은 Table 5에서 AI1F1과 HI1AF2를 제외한 6개의 실험값을 사용하여 S-N 상관관계를 도식화한 것이다. 피로실험결과 각각의 부재에 대한 피로수명과 피로강도 관계식은 지수형태의 함수로 나타낼 수 있다. 그리고 적용된 작용하중과 파괴시까지 반복횟수의 관계식은 식 (1)과 같다.

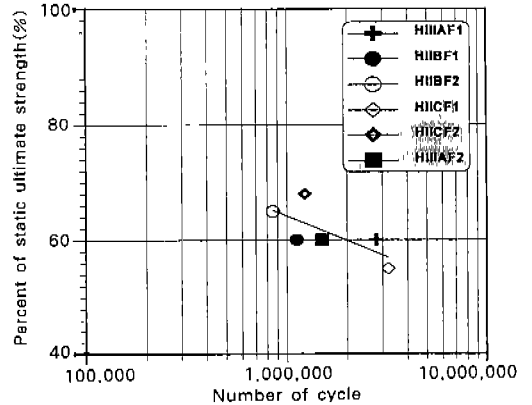


Fig. 7. S-N curve

$$Y = B \times \ln(X) + A \dots\dots\dots(1)$$

여기서, A와 B는 실험에 의해 결정되는 상수이다. 윗식을 다음과 같은 형태로 바꾸어 실험결과로부터 얻은 결과값을 정적극한하중에 대한 피로하중 백분율(S)인 피로강도와 피로수명( $N_f$ : 파괴시까지 반복횟수)의 관계를 Fig. 7에 나타냈으며 이를 회귀분석하면 식 (2)와 같은 관계식을 얻을 수





있다. 단) AIIF1와 HIIAF2의 경우에는 실험미숙으로 조기에 파괴된 시험체로서 본 회귀분석에서 제외되었다.

$$S = -6.22051 \times \ln(N_f) + 150.135 \quad (R^2 = 0.495) \dots (2)$$

## 2. 반복횟수에 따른 균열성장과 파괴양상

### 가. 균열성장

Fig. 8에는 고강도 철근콘크리트 보의 반복횟수 증가에 따른 균열성장과 파괴양상을 나타냈다. 전단보강철근이 없는 보(AF-series)의 경우에는 정하중이 작용할 때 휨균열이 발생하고 전단구간 내인 재하점과 지지점 사이에서 초기 휨균열이 성장하다가 어느 단계에서 급작스럽게 사인장균열이 형성되고 반복하중을 받으면서 균열의 폭이 점진적으로 증가하는 양상을 보였다. 전단보강철근이 있는 보(BF-Series, CF-series)의 경우에는 반복횟수의 증가에 따른 균열성장거동은 초기에는 미세균열이 점차로 성장하여 사인장균열로 발전하게 되었다. 반복하중에 의한 휨균열은 보의 중앙부 하단에서 발생하고 그 이후에는 반복횟수가 증가함에 따라 균열이 느린 속도로 사인장균열로 성장하였다. 초기에 발생한 보의 중앙부 휨균열은 약 10만회 이하에서 진전이 거의 멈추었으나 사인장균열은 일정한 속도로 거의 파괴될 때까지 성장되었다. 전단보강철근(BF-series)의 경우에는 복부 중앙에서 발생한 사인장균열로 인해 사인장파괴되었으며 전단보강철근(CF-series)의 경우에는 균열간격이 매우 조밀하였고 그 발생수도 증가하여 휨균열이 진전되어 휨파괴되었다. 또한 반복횟수에 따른 균열거동은 정하중을 받는 경우와 유사하나, 균열의 폐쇄 및 개방된 균열에서 골재 맞물림 발생 등의 복잡한 거동 특성이 관찰되었다. 또한 파괴실험에서 하중을 제거하면 미세균열은 상당히 복원되는 특징을 가지고 있었다.

### 나. 파괴양상

피로하중에 의한 응력값이 극한치를 넘으면 보는 더 이상 견디지 못하고 파단된다. 보의 파괴양

상은 크게 두가지로 구분할 수 있으며 전단보강철근이 있는 경우와 없는 경우에 큰 차이점을 보이고 있다. 이러한 파괴는 콘크리트의 압축파괴와 철근의 피로파괴로 구분된다. 본 실험결과로부터 전단보강철근이 있는 경우 HIIBF1 시편은 반복횟수 1,121천회에서 인장철근과 전단보강철근이 동시에 피로파단 되었고, HIIBF2 시편은 반복횟수 854천회에서 전단보강철근에 의해서 피로파단 되었으며 모두 사인장균열에 의하여 사인장파괴 되었다. HIICF1 시편은 반복횟수 3,211천회 이상의 반복하중을 견디었고 휨균열에 의하여 휨파괴 양상을 보였다. HIICF2 시편은 반복횟수 1,231천회에서 인장철근의 피로파단으로 휨균열에 의한 휨파괴 되었다. 이와 같은 인장철근 및 전단보강철근의 피로파괴는 균열부의 응력집중으로 인하여 철근이 과도한 피로하중을 받으며 최종적으로 철근자체가 파단되어 부재가 파괴되는 양상을 보였다. 이에 반하여 전단보강철근이 없는 경우에는 휨균열 이후 생성된 사인장균열후 제2의 사인장균열을 유발하여 급작스럽게 파괴를 일으킨다. HIIIAF1 시편은 반복횟수 2,793천회에서, HIIIAF2 시편은 반복횟수 1,496천회에서 모두 사인장균열에 의해 사인장파괴 되었다. 또한 HIIAF1, HIIAF2 시편은 정하중에 의해서 파괴되는 경우로 과도한 하중으로 인하여 철근이 휘어져 부재가 파손되는 양상을 볼 수 있었다. Fig. 8에서는 휨피로



A: Typical fatigue failure of longitudinal steel  
B: Typical fatigue failure of stirrups

Fig. 9. Flexure fatigue failure

파괴 양상을 나타내고 있다.

## 2. 반복횟수와 처짐 관계

Fig. 10~Fig. 13에서는 반복횟수와 중앙처짐 관계를 나타냈고 여기에서 최대하중( $P_{max}$ )와 최소하중( $P_{min}$ )으로부터 각각의 부재에 대한 작용하중의 범위를 알 수 있다. 반복하중의 작용시 초기평균 열이 발생하는 1~100회 사이에 상당한 처짐의 증가를 보이다가 그 이후로 반복횟수가 점점증가함에 따라 처짐은 미세하게 증가하는 추세를 보였다. 이와 같이 피로실험에서의 처짐은 반복횟수의 영향보다 작용하중 범위나 응력범위(Stress range,

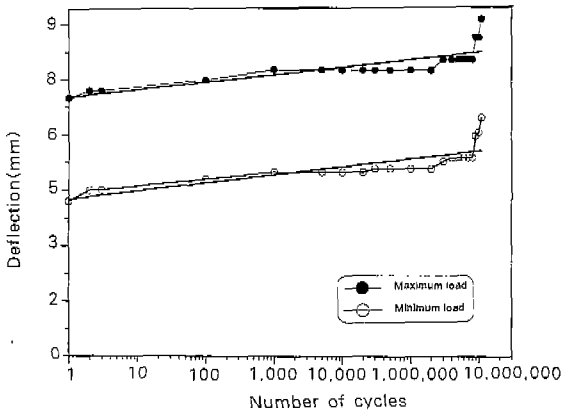


Fig. 10. Number of cycles - deflection relation of HIIBF1

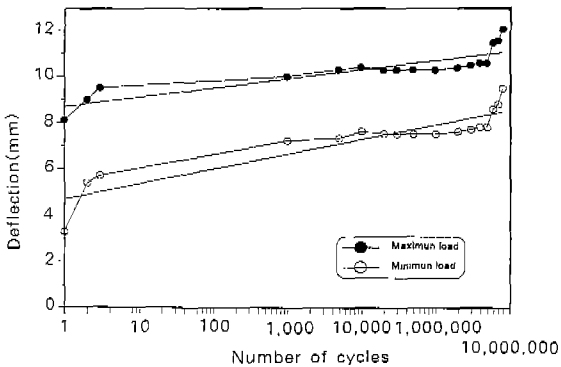


Fig. 11. Number of cycles - deflection relation of HIIBF2

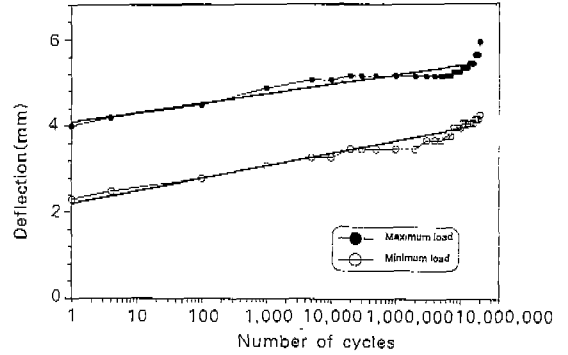


Fig. 12. Number of cycles - deflection relation of HIICF1

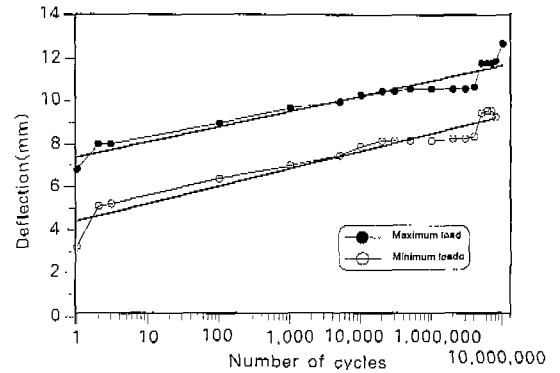


Fig. 13. Number of cycles - deflection relation of HIICF2

$\Delta R$ )에 영향을 많이 받는다는 것을 알 수 있었다. 또한 반복하중에 대한 처짐곡선을 통하여 최대하중과 최소하중의 진폭에 따른 처짐의 진행대를 뚜렷이 확인할 수 있었고, 본 실험에서 전단보강철근은 처짐 억제에 큰 영향을 미치지 못했다.

## 2. 반복횟수와 변형률 관계

Fig. 14~Fig. 17에서는 반복횟수와 변형률 관계를 나타냈다. 그림에서 알 수 있듯이 반복하중에 의한 인장철근의 변형률은 제하 초기에 큰 변화를 보이고 반복횟수가 증가할수록 일정한 변동폭으로 아주 조금씩 증가하다가 인장철근의 항복점에 도달했을 때 큰 증가를 나타냈다. 전단보강철근의 변형률은 사인장균열이 발생하는 지점에서 상당히

큰 폭으로 증가하기 시작하였고 이러한 변형률의 증가는 파괴직전까지 계속되었다. 대부분의 부재에서 두 개의 인장철근 변형률은 거의 일치하였으나 2단으로 배치된 철근콘크리트 보의 인장철근에서 하부철근이 항복하더라도 곧바로 인장변형률이 크게 증가하지 않았다. 그리고 반복횟수가 증가함에 따라 하부철근과 상부철근의 변형률 값의 차이가 커짐을 알 수 있었다. 콘크리트에 결함이 있는 한쪽면에 발생한 균열로 인해 그곳에 응력이 집중

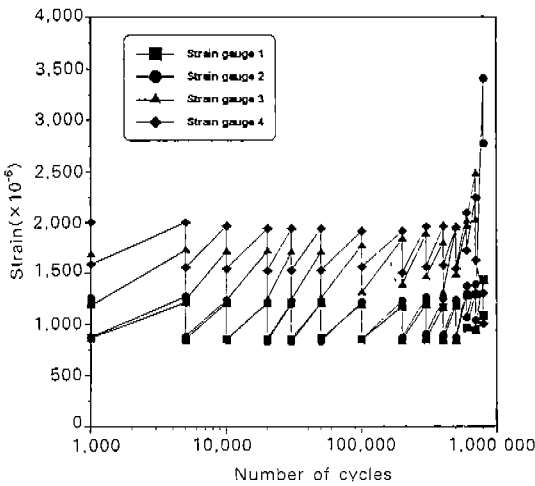


Fig. 14. Number of cycles - longitudinal steel strain relation of HIIBF2

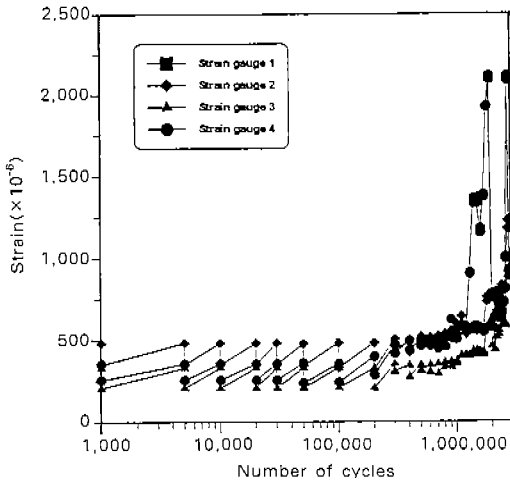


Fig. 15. Number of cycles - longitudinal steel strain relation of HIICF1

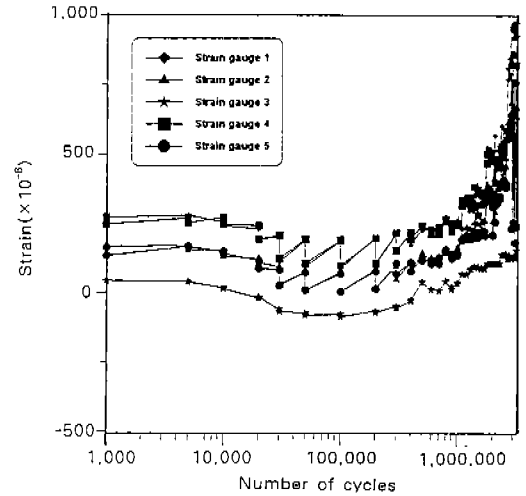


Fig. 16. Number of cycles - stirrup strain relation of HIICF1

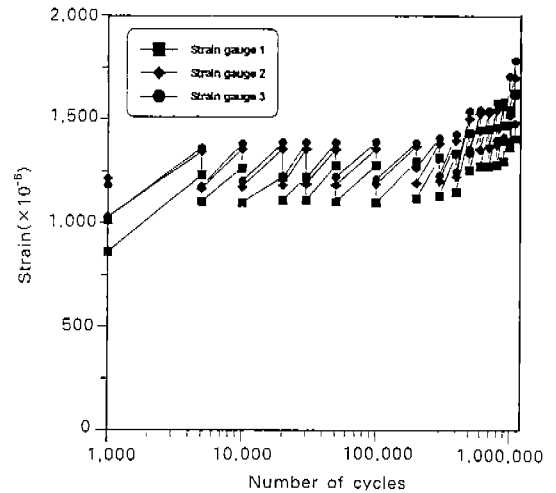


Fig. 17. Number of cycles - stirrup strain relation of HIICF2

되어 균열의 폭이 커짐으로서 다른쪽의 변형률보다 크게 나타나는 경향을 보였다.

## V. 결 론

본 연구에서는 고강도 콘크리트를 사용한 철근 콘크리트 보에 대하여 파괴실험을 수행하였다. 고강도 철근콘크리트 보의 전단파괴실험을 통하여

반복횟수에 따른 균열성장과 파괴양상, 반복횟수와 처짐관계, 반복횟수와 변형을 관계, 피로강도와 S-N 곡선 등을 분석한 바 얻어진 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 피로하중을 받는 고강도 철근콘크리트 보에 대하여 전단보강철근이 없는 시편의 경우에는 휨균열 이후 사인장균열에 의해 급작스럽게 파괴에 이르렀으나, 전단보강철근이 있는 시편의 경우에는 인장철근 및 전단보강철근의 항복으로 피로파단 되었고 휨 및 사인장파괴 양상을 나타내었다.

2. 피로실험결과 고강도 철근콘크리트 보는 정적극한강도의 57~66%에서 파괴되었으며 S-N 곡선으로부터 반복횟수 200만회에 대한 피로강도는 정적극한강도의 60% 전후임을 확인할 수 있었다.

3. 피로하중에 의한 고강도 철근콘크리트 보의 거동을 정확하게 파악하기 위하여 반복횟수 증가에 따른 처짐 및 변형도의 증가현상을 정확히 분석하였으므로 본 연구결과는 고강도 철근콘크리트 보의 전단파괴거동을 해석하는데 유용하게 활용할 수 있을 것으로 사료된다.

4. 피로하중은 고강도 철근콘크리트 부재에 대하여 매우 심각한 영향을 주게 되므로 실제 구조물에서 피로파괴가 발생하게 되면 부재에 상당한 위험을 수반하게 될 것으로 판단된다.

본 논문은 1999년도 원광대학교 교비지원에 의하여 연구되었음.

### 참 고 문 헌

1. ACI Committee 363, "State of the Art Report on High-Strength Concrete", ACI Journal, Vol. 81, No. 4, July-August 1984, pp. 364~411.
2. ACI Committee 318, "Building Code Requirements for Reinforced Concrete(ACI 318-89)", American Concrete Institute, 1989.
3. ACI Committee 215, "Considerations for Design of Concrete Structures Subjected to Fatigue Loading", ACI Journal, ACI 215R-74, Vol. 71, No. 3, March 1974, pp. 97~121.
4. K. H. Kwak, J. Suh and C. T. T. Hsu, "Fatigue Strength of Steel Fiber Reinforced Concrete Beams", Second CANMET/ACI International Concrete on Durability of Concrete, Montreal Canada, 1991, pp. 369~384.
5. T. S. Chang and C. E. Kesler, "Fatigue Behavior of Reinforced Concrete Beam", Journal of ACI, Vol.55, August 1958, pp. 245~254.
6. T. S. Chang and C. E. Kesler, "Static and Fatigue Strength in Shear of Beams with Tensile Reinforcement", Journal of ACI, Vol. 54, June 1958, pp. 1033~1057.
7. T. Ueda and H. Okamura, "Behavior in Shear of Reinforced Concrete Beams under Fatigue Loading", Journal of the Faculty of Engineering University of Tokyo, Vol. 37, No. 1, 1983, pp. 17~48.
8. T. E. Stelson and J. H. Cernica, "Fatigue Properties of Concrete Beams", Journal of ACI, Vol. 30, No. 2, August 1958, pp. 255~259.