

# 고강도 철근콘크리트 보의 전단거동에 관한 실험적 연구

## An Experimental Study on Shear Behaviour of Reinforced High Strength Concrete Beams

곽 계 환\* · 고 감 수\*\* · 곽 경 현\*\*\*  
Kwak, Kae Hwan · Go, Gab Su · Kwak, Kyung Hern

### Summary

In recent years, the research and development about the new material proceeds rapidly and actively. In building industry, high strength concrete is of interest as a new material. Since the building structure becomes bigger, higher and more specialized, the demand of material and member with high strength expands greatly.

Therefore in this experiment, cement complex with high strength was made using the condensed silica fume, a basic experiment was performed on strength property, and optimum-mixture-state was determined for manufacturing a high-strength concrete. Shear behaviour and fracture property of concrete beams with high strength were evaluated.

On the whole, in spite of many researches, it is one of the difficult problems that shear fracture of concrete beams has not yet been clearly understood theoretically, and now the shear-design-standard forms in many countries are a formula based on experiment.

In this study, the variable of shear behavior experiment was shear-reinforcement-ratio. By analyzing test results and comparing with computation value by ACI code, the basic data was offered on shear design of reinforced concrete beams with high strength. The effect of epoxy repair was also investigated for the beams with cracks due to flexural and shear loading.

### I. 서 론

최근 들어 신소재에 대한 연구와 개발이 활

발해지면서<sup>1,2)</sup> 고강도 콘크리트(high strength concrete ; HSC)에 대한 관심이 고조되고 있다.<sup>1,2)</sup> 고강도 콘크리트에 대한 연구가 활발

\* 원광대학교 공과대학  
\*\* 감사원  
\*\*\* 원광대학교 대학원

키워드 : 고강도 콘크리트, 실리카 흡, 최적배합 설계, 전단파괴, 파괴특성 사인장균열

해지는 이유로 첫째, 구조물이 점차 대형화, 고층화, 특수화 됨에 따라 보통 콘크리트로서 이들에 대한 구조물의 내하력을 감당하기 어려워 고강도, 고성능의 전재용 시멘트복합체가 크게 요구되기 때문이다. 둘째, 고강도 콘크리트 구조물은 강구조물(steel structure)을 대체할 수 있는 경제성이 높은 구조물이기 때문이다.

그러나 현재까지 국내에서의 고강도 콘크리트의 이용은 설계기준강도가 500kg/cm<sup>2</sup> 이상의 강도를 가지는 콘크리트 구조물을 시공한 예가 드물다. 그리고 철근콘크리트 보의 전단 파괴는 많은 연구<sup>3~10)</sup>에도 불구하고 아직까지 이론적으로 명확하게 규명되지 못하고 있는 실정이며 현재 각국의 전단설계 기준식은 주로 실험에 의존한 공식들이다.<sup>11)</sup>

본 연구의 목적은 첫째, 산업 부산물인 실리카흄(condensed silica fume; CSF)을 사용한 콘크리트의 강도특성에 관한 기초적 실험 연구를 수행하고 고강도 콘크리트의 생산을 위한 최적 배합설계를 하므로써 경제성 있는 고강도 콘크리트를 생산하고자 한다. 둘째, 고강도 철근콘크리트 보의 전단거동 실험을 실시하여 전단 보강비에 따른 전단거동 및 파괴 특성을 분석하므로써 이들 보의 전단설계에 필요한 기초자료를 제공하고자 한다. 셋째, 고강도 철근콘크리트 보에 있어서 내하력의 부족으로 휨균열과 사인장균열이 발생하였을 때 에폭시를 사용한 보수효과를 규명하고자 한다.

## II. 사용재료 및 실험방법

### 1. 사용재료

#### 가. 시멘트

높은 강도를 얻기 위하여 양질의 시멘트의 선택은 매우 중요하며 같은 종류의 시멘트라도 제조회사나 국가에 따라 그 구성비가 다르기 때문에 본 연구에서는 ○○주식회사 제품의

Table-1. Chemical analysis of cement

Ig. less	Inso <sub>1</sub>	CaO	SiO <sub>1</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	So <sub>3</sub>
0.9	0.5	61.50	20.40	6.30	3.00	2.70	2.30

Table-2. Physical properties of cement

Specific gravity	Fineness (cm <sup>2</sup> /g)	Time of setting		Compressive strength (kg/cm <sup>2</sup> )		
		Initial(hr.)	Final(hr.)	3day	7day	28day
3.15	3290	4.5	6.45	197	288	366

Table-3. Physical properties of aggregate

Aggregates	Max size (mm)	Specific gravity	Absorption (%)	Fineness modulus	Unit weight (kg/cm <sup>2</sup> )
fine aggre.	-	2.64	1.11	2.80	1527
Coarse aggre.	19	2.59	1.64	6.78	1705

보통 1종 포틀랜드 시멘트를 사용하였다. 시멘트의 화학성분 및 물리적 특성은 Table-1과 Table-2에 나타내었다.

#### 나. 골재

HSC를 제조하기 위하여 굵은 골재는 표면이 거칠고 면적이 넓어서 시멘트 플라와의 부착성이 좋은 쇄석을 이용하였으며, 잔골재는 하천 모래를 사용하였다. 잔골재와 굵은골재의 물리적 특성은 Table-3에 나타내었다.

#### 다. 혼화재료

본 연구에 사용한 혼화재는 00사의 실리카흄(CSF)이다. 이 혼화재는 포졸란 반응이 극히 크며 비표면적도 매우 커서 강도증진과 장기강도 확보 및 내구성 증진에 우수한 특징을 가지고 있다. 본 실험에 사용된 실리카흄의 화학적 조성과 화학반응식은 Table-4와 Table-5에 나타내었다.

#### 라. 고성능 감수제

고강도 콘크리트의 제작은 우선적으로 낮은 물-시멘트비(W/C+SF)가 요구되므로 유동성의 확보가 중요하다. 특히 본 실험의 경우 고강도 발현을 위해 첨가한 혼화재(CSF)가

**Table-4. Physical properties and chemical analysis of silica fume**

Ig.loss	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO <sub>3</sub>	CaO	MgO	So <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O	Total	Specific gravity	Specific surface area(cm <sup>2</sup> /g)
1.9	90.0	1.5	3.0	2.0	0.6	0.5	0.5	100.0	2.2	200,000

**Table-5. Chemical reaction of silica fume**

$H_2O + 3CaO \cdot SiO_2 \rightarrow C-S-H + Ca(OH)_2$
$6SiO_2 + 5Ca(OH)_2 \rightarrow 5CaO \cdot 6SiO_2 \cdot 5H_2O$

비표면적이 매우 크고 이에 따른 함수효과 역시 다른 혼화제보다 상당히 커서 콘크리트의 유동성이 더욱 악화된다. 따라서 본 연구는 콘크리트의 유동성을 확보하기 위해서 나프탈렌계의 고성능감수제를 사용하였으며, 이에 대한 물리적 특성은 Table-6과 같다.

## 2. 실험방법

### 가. 배합설계 및 강도 실험방법

HSC의 강도에 영향을 주는 요인은 여러가지가 있으나 본 연구는 물-시멘트비(W/C+SF), 시멘트량 및 실리카흙의 혼입율을 강도발현의 주요 영향요인으로 보고 배합설계를 하였다. 즉, 본 연구는 다른 조건은 모두 동일하게 하고 물-시멘트비만 19%, 25% 및 30%로 변화시킨 3종류의 시험체를 제작하여 재령별 강도실험을 실시하였다. 이 결과로 부터 강도발현이 가장 좋은 물-시멘트비(W/C+SF)에 대하여 시멘트량은 500kg, 600kg, 700kg으로 변화를 주고, 실리카흙의 혼입량은 시멘트 중량에 대하여 0%, 10%, 20%, 30%로 변화를 준 12종류의 시험체를 제작하였으며, 각 종류별 시험체의 강도실험을 통하여 HSC의 강도발현을 위한 최적의 시멘트량과 실리카흙 혼입량을 결정하였다. 강도실험은 10×20cm 시험체를 제작한 후 3일, 7일 그리고 28일의 재령에서 200ton 용량의 만능시험기(UTM)를 이용하여 측정하였다. 물-시멘트비를 19%로 고정시키고 시멘트량과 실리카흙

**Table-6. Physical properties of superplasticizer**

Specific gravity	Type	Color	Component	PH
1.21	Liquid	Dark-Brown	Nap.	8.0

**Table-7. Mixing proportion of high strength concrete**

Test series	W/C+SE (%)	SF (cx%)	SP (c+da) × %	S/a (%)	Mix proportion(kg/m <sup>3</sup> )					
					W	C	SF	S	G	SP
A-SF0	19	0	3.0	35	95.0	500	0	670	1244	15.00
A-SF10		10	2.5		105.00	500	50	635	1201	13.75
A-SF20		20	2.2		114.0	500	100	624	1154	13.20
A-SF30		30	2.1		123.5	500	200	600	1113	13.65
B-SF0	19	0	1.7	35	114.0	600	0	606	1123	10.20
B-SF10		10	1.8		125.4	600	60	595	1105	11.88
B-SF20		20	1.8		136.8	600	120	567	1053	12.96
B-SF30		30	1.8		148.2	600	180	538	1004	14.04
C-SF0	19	0	1.8	35	133.0	700	0	577	1069	12.60
C-SF10		10	1.7		146.3	700	70	543	1011	12.32
C-SF20		20	1.8		159.0	700	140	512	949	12.60
C-SF30		30	1.9		173.0	700	210	481	889	15.39

혼입량에 변화를 준 12종류의 배합설계결과를 Table-7에 나타내었다.

### 나. 전단거동 실험방법

본 연구에서 사용된 전단거동 실험을 위한 시험체의 배합비는 HSC의 강도실험을 통하여 결정하였으며, 이를 Table-8에 나타내었다.

시험체의 제작에 사용된 보강철근은 모두 이형철근이고 재료적 특성은 Table-9와 같다.

본 연구에서 시험체는 고강도 콘크리트와 보통 콘크리트를 사용하여 제작하였다. 고강도 콘크리트를 사용한 시험체의 주요변수는 전단보강비 ( $R_v = [\rho_v / \rho_v(ACI)] \times 100$ )로서

Table-8. Mixing proportion of high strength concrete for beams

Aggre. max Size (mm)	Slump (cm)	Air (%)	S/A	W/(C+SF)	Water	Cement	Silica fume	Fine aggr.	Coarse aggr.	SP (%)
19	10	1.3	35	19	173	70	210	481	889	2.0

Table-9. Characteristics of deformed bars

Type of Bars	Nominal area (cm <sup>2</sup> )	Yielding stress (kg/cm <sup>2</sup> )	Ultimate strength (kg/cm <sup>2</sup> )	Modulus of elasticity (kg/cm <sup>2</sup> )
D10	0.7133	2,777	4,067	2.04×10 <sup>6</sup>
D19	2.865	4,150	5,020	2.04×10 <sup>6</sup>

Table-10. Details of test specimens

Beams	Specimen beam size (cm)	Tensile steel bars (mm)	Vertical steel bars (stirrup, mm)	a/d	Specimen cylinder (cm)
AS1	15×30×190	φ19	None	2.8	10×20
AS2	15×30×190	φ19	None	2.8	10×20
AS3	15×30×190	φ19	None	2.8	10×20
BS1	15×30×190	φ19	φ10( 6EA)	2.8	10×20
BS2	15×30×190	φ19	φ10( 6EA)	2.8	10×20
BS3	15×30×190	φ19	φ10( 6EA)	2.8	10×20
CS1	15×30×190	φ19	φ10(12EA)	2.8	10×20
CS2	15×30×190	φ19	φ10(12EA)	2.8	10×20
CS3	15×30×190	φ19	φ10(12EA)	2.8	10×20
NS	15×30×190	φ19	None	2.5	10×20

ACI 318-89(11-17)식에 따른 소요 전단보강량을 기준으로 0, 50, 100%로 하였다. 시험체의 전단 지간비는 2.8, 단면은 15×30×190cm, 지간의 길이는 150cm로 일정하게 하였다. 그리고 전단보강 철근은 ACI 318-89 규준에 따라 산정하여 배근하였다. 인장철근비( $\rho_w=0.033$ )는 일정하게 계획하였고 부착파괴를 방지하기 위하여 양 지점 부근에 15cm씩 여유길이를 두어 설치하였다.

복부의 전단 보강비가 0, 50%인 보는 이론상 전단파괴를 일으키도록 제작되었으며 전단 보강비가 100%인 보는 전단파괴와 휨파괴가

동시에 발생하도록 제작되어 전단 보강비의 증가에 따른 전단강도의 변화추이를 알아 보았다.

시험체의 특성은 Table-10과 같으며 단면형상, 치수, 게이지 부착위치 등은 Fig. 1과 같다. 여기에서 AS, BS, CS는 각각 전단보강비가 0, 50, 100%인 시험체를 나타내고 NS는 보통강도 철근콘크리트 시험체를 나타낸다.

고강도 철근콘크리트 보의 전단강도 실험에서 시험체의 지지조건은 단순보로 하였으며, 4점재하방식으로 중앙부에서 연직하중을 가하였다. 이 하중은 200ton용량의 만능시험기(UTM)를 이용한 하중조절방식(Load control)에 의해 가력하였으며 실험시간은 약 30분에서 80분이 소요 되었고 시험체의 강도실험은 동일한 재령에서 실시하였다.

하중과 중앙처짐의 관계는 시험체의 순수 휨구간의 중앙에 다이알게이지(Dial gauge)를 설치하여 측정하였으며 하중과 변형률의 관계는 각각의 보강철근에 변형측정 게이지(Strain gauge)를 부착하여 측정하였다. 또한 하중증가에 따른 균열성장 과정을 관찰하였고 초기 휨균열하중, 초기 사인장균열하중 및 극한하중을 측정하였다. 파괴된 콘크리트의 표면은 전자현미경을 통하여 관찰하였다. Fig. 2은 시험체의 설치된 모습을 보여준다.

#### 다. 보수 실험방법

보수실험을 위한 시험체는 전단보강이 없는 고강도 철근콘크리트 보에 하중을 가하여 휨균열과 전단균열을 발생시킨 후 폴리머계 보수재료인 액상 에폭시 수지(Epoxy resin)를 주입하여 제작하였다. 시험체의 보수부분과



**Table-11. Age and compressive strength of HSC cylinders**

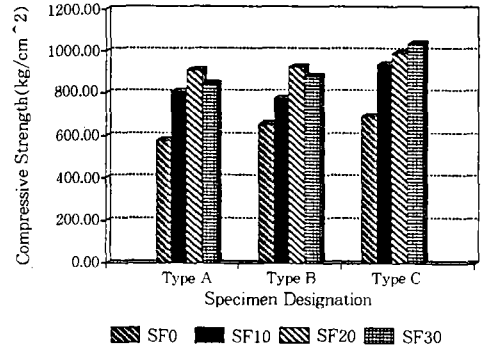
W/(C+SF) (%)	Silica fume (%)	Slump (cm)	Compressive strength(kg/cm <sup>2</sup> )		
			3 days	7 days	28 days
19	10	8	523	853	932
25	10	11	539	677	752
30	10	13	381	608	660

**Table-12. Result of strength test in high strength concrete**

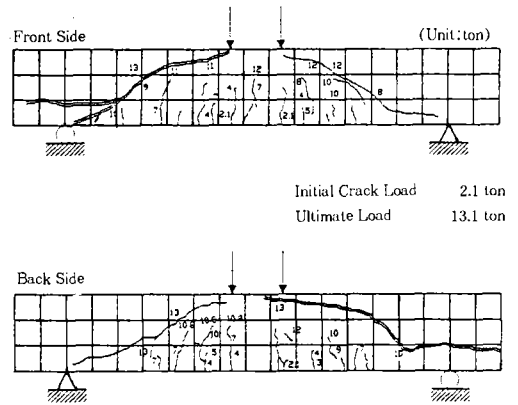
Test series	Compressive strength (kg/cm <sup>2</sup> )				Tensile strength (kg/cm <sup>2</sup> )
	3day	7day	28day	90day	
A-SF0	364	426	525	577	45.4
A-SF10	533	630	749	808	55.4
A-SF20	534	684	865	908	58.1
A-SF30	507	697	790	845	47.0
B-SF0	395	486	608	655	39.5
B-SF10	446	552	708	778	46.6
B-SF20	621	689	851	927	43.3
B-SF30	566	720	809	880	38.2
C-SF0	497	596	662	695	41.7
C-SF10	638	793	882	939	52.0
C-SF20	582	795	954	993	47.5
C-SF30	650	930	1190	1240	57.6

물-시멘트비(W/C+SF)는 19%로 고정하고 시멘트량과 실리카흙의 혼입률에 변화를 준 12종류의 시험체에 대한 압축강도실험을 실시하였으며 이 결과를 Table-12와 Fig. 4에 나타내었다.

Table-12와 Fig. 4에서 보는 바와 같이 동일한 시멘트량일 경우, A시리즈와 B시리즈는 실리카흙의 혼입률이 20%에서, C시리즈의 경우에는 실리카흙의 혼입률이 30%에서 압축강도의 최대값을 나타내고 있었다. 이는 혼화재의 첨가량이 어느 한계 이상으로 많아지면 오히려 콘크리트 강도의 발현을 저해한다는 사실을 보여주는 것이다. 실리카흙의 혼입률이 같을 경우 시멘트량의 증가에 따라 압축강도가 증가함을 알 수 있었으며 이로부터 강도



**Fig. 4. Comparison of strength of high strength concrete**



**Fig. 5. Crack growth pattern of AS beam**

발현을 위한 최적의 시멘트량과 실리카흙 혼입률이 존재함을 알 수 있었다. 압축강도의 최대값은 C-SF30에서 1,240kg/cm<sup>2</sup>으로 나타났다.

## 2. 전단거동실험

### 가. 균열성장과 파괴형태

본 실험에서 동일한 전단지간비를 가지는 시험체의 파괴양상은 전단보강비에 따라 상당한 차이를 나타내었다. 그러나 모든 시험체에서 발생한 균열은 유사한 진전과정을 나타냈다. 휨균열은 하중재하 초기에 순수휨 구간에서 발생하여 하중을 증가시키에 따라 계속 성장하였다. 사인장균열은 전단지간내의 복부 중앙에서 단독으로 급작스럽게 발생하거나 중

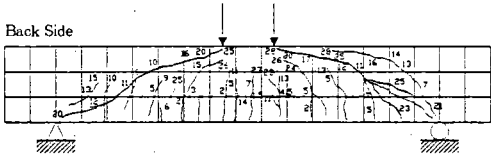
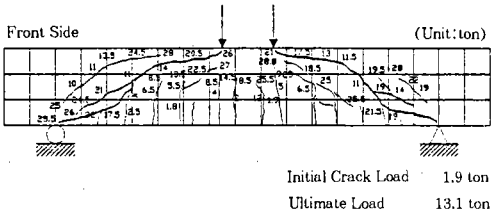


Fig. 6. Crack growth pattern of BS beam

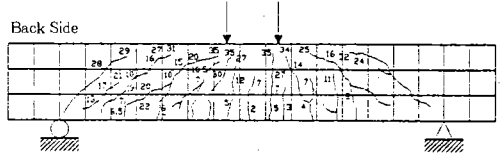
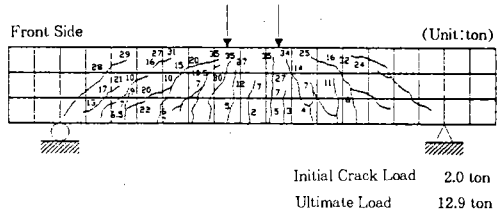


Fig. 7. Crack growth pattern of CS beam

양에서 1.0d~1.5d만큼 떨어진 지점에서 발생한 휨균열이 보의 중립축과 약 40~50°(평균 45°)의 각도를 이루며 성장하였다. 위와 같이 발생한 전단균열은 하중을 더욱 증가시킴에 따라 윗부분의 균열 선단은 하중점을 향하여 아래 부분의 균열 선단은 지지점을 향하여 동시에 성장하였다.

전단보강이 없는 시험체는 초기 사인장균열이 발생한 후 약간의 추가하중만을 받아 매우 빠르게 파괴되는 경향을 보였으며 재료상내 내부결함이 큰 부분에 응력이 집중되어 그 부분에 균열확대를 야기시켰고 최종적으로 인장철근을 따르는 활렬파괴를 나타내었다. 전술한 바와 같이 약간의 추가하중만을 받아 보가 파괴되었다는 것은 사인장균열의 진행속도가 매우 빠르며 이것은 또한 고강도 콘크리트의 취성이 강하다는 것을 의미하는 것이다. 따라서 동적하중에서 고강도 철근콘크리트 구조물의 취성증가에 대한 검토가 필요하다고 사료된다.

전단보강이 있는 시험체의 경우 전단보강철근은 초기 사인장균열의 폭을 제어하여 내력이 재분배됨으로서 다시 2, 3차의 사인장균열을 형성하였다. 이는 보통 대칭적인 균열의 진행을 나타내면서 파괴에 이르렀다. 전단보강비가 50%인 시험체의 파괴양상은 전단인장

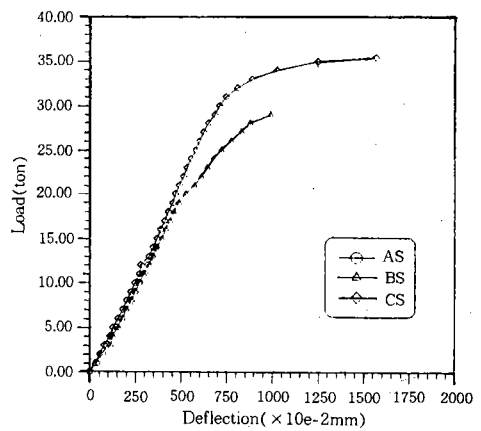
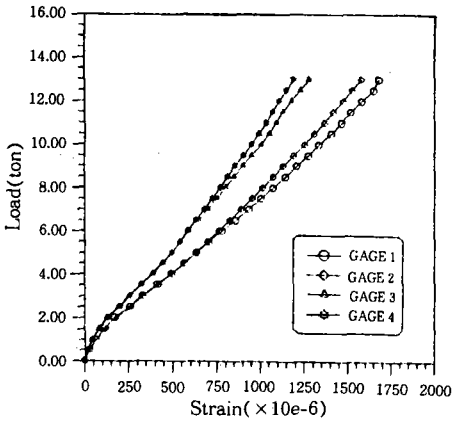


Fig. 8. Load-deflection relation for test beams

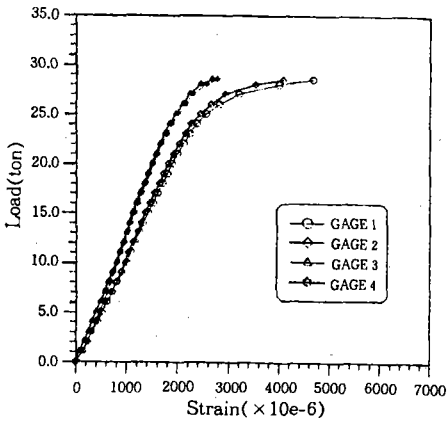
파괴를 나타내었으나 전단보강비가 100%인 시험체는 50%인 시험체에 비해 균열폭의 확대가 작고 미세균열이 많으며 사인장균열의 경사도가 작게 나타났다. 그리고 시험체는 압축부에서 파괴가 일어나 최대하중이 결정되는 콘크리트의 압축파괴를 나타내었다.

나. 하중-중앙처짐과 하중-변형을 관계 본 실험을 통하여 균열발생 이전에 시험체의 중앙처짐은 하중이 증가함에 따라 선형적으로 증가하였다. 그러나 균열발생 이후 전단보강이 50%인 시험체의 경우에 중앙처짐은 비선형적으로 증가함을 알 수 있다.

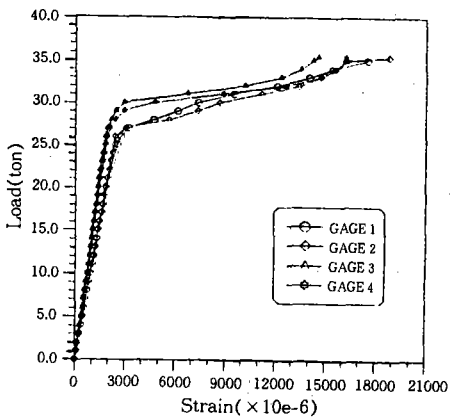
Fig. 8에서 보는 바와 같이 실험에 사용된



(a) AS beam



(b) BS beam



(c) CS beam

Fig. 9. Load-longitudinal steel strain relation for test beams

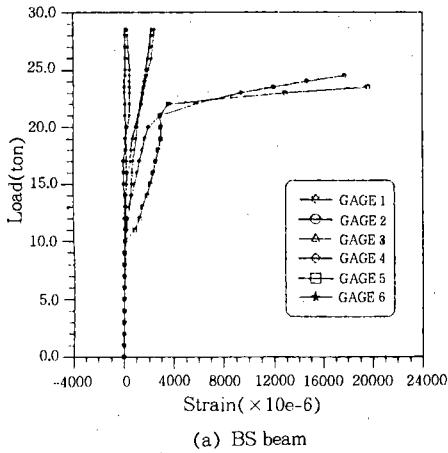
모든 보의 초기 처짐의 기울기는 거의 동일하게 나타나고 있으나 전단보강비가 많을수록 처짐의 기울기의 변화가 적음을 알 수 있었다. 이것으로 일정하중 이상에서 전단보강 철근이 많을 수록 부재내의 하중의 재분배가 양호하게 이루어져 전단보강 철근이 부재의 강성을 높이는 데 어느 정도 기여한다는 것을 알 수 있었다.

변형률은 철근에 부착한 변형 게이지 (Strain gauge)를 이용하여 측정하였으며 각각의 시험체에 대한 하중과 인장철근의 변형을 관계는 Fig. 9에 나타내었고 하중과 전단보강철근의 변형을 관계는 Fig. 10에 나타내었다. Fig. 9에서 보는 바와 같이 인장철근의 변형률은 하중의 증가에 따라 일정한 기울기를 가지고 증가하였다. 전단보강이 없는 시험체의 경우(Fig. 9(a)), 초기 직선부분에서 인장철근은 콘크리트와 동일한 변형률로 거동하나 콘크리트에 휩균열이 발생한 후에는 철근만이 인장력을 부담하게 됨으로서 변형률의 기울기가 증가하였다. Fig. 9(b)에서 인장철근이 항복점에 도달하였음을 알 수 있고 Fig. 9(c)에서는 인장철근이 항복점을 넘어 극한점에 이르렀음을 보여준다. Fig. 10에 나타난 것처럼 전단철근의 변형도는 사인장균열 이전에는 거의 나타나지 않고 사인장균열 이후에 급격히 증가함을 알 수 있었다. Fig. 10(a)에 나타난 6개의 게이지중 변형률이 급격한 증가를 보이는 2번과 5번 게이지는 전단지간의 중앙부에 위치한 스테럽의 변형률로서 스테럽의 위치는 양쪽 전단 지간에서 최초로 발생한 사인장균열부이다. 이것으로부터 사인장균열이 발생한 지점의 스테럽이 외력에 대한 하중을 더 부담한다는 사실을 확인 할 수 있었다.

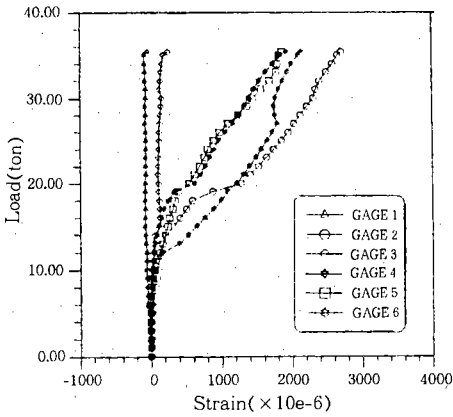
#### 다. 전단강도

각 시험체의 전단거동 실험에서 초기 휩균열이 발견되었을 때의 하중을 초기 휩균열하중  $P_{f0}$  초기 전단균열이 발견되었을 때의 하





(a) BS beam



(b) CS beam

Fig. 10. Load-stirrup strain relation for test beams

중을 균열전단하중  $P_{dc}$  최대하중을 받았을 때의 하중을 극한하중  $P_u$ 라 하여 ACI(American concrete institute) 규준에 의한 계산값과 함께 Table-13에 나타내었다. Fig. 11은 전단강도에 관한 실험의 결과이다. Fig. 11에서 보는 바와 같이 모든 시험체의 초기 휨균열 하중과 초기 사인장균열 하중은 비슷한 수준을 나타내고 있었다. 즉 전단철근은 콘크리트에 사인장균열이 발생한 후 외력에 저항한다는 것을 알 수 있었다.

ACI 318-89 11-6식에 의하면 철근콘크리트 보에 하중이 작용하여 초기 전단균열이 발

Table-13. Comparison of shear strength

Name of beams	Stirrup spacing (cm)	Test result			ACI
		$P_u$ (ton)	$P_{dc}$ (ton)	$P_{fc}$ (ton)	$P_u$ (ton)
AS1	Without stirrup	13.1	13.0	2.1	6.07
AS2	Without stirrup	14.6	14.0	2.4	6.07
AS3	Without stirrup	13.4	13.1	1.8	6.07
BS1	20	28.8	11.5	1.5	10.99
BS2	20	29.3	12.8	2.1	10.99
BS3	20	29.4	13.1	1.9	10.99
CS1	10	35.4	11.7	1.3	15.91
CS2	10	35.7	12.6	1.8	15.91
CS3	10	36.3	12.9	2.0	15.91
NS	Without stirrup	12.6	14.0	3.5	3.89

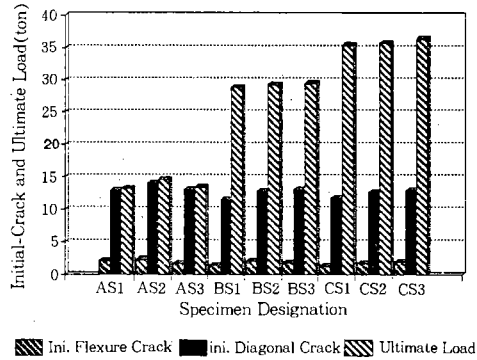


Fig. 11. Comparison of initial crack load with ultimate load

생하면 콘크리트의 전단강도는 전부 소진된다는 가정하에  $a/d$ 가 2.5이상인 가늘고 긴 보의 콘크리트가 부담하는 전단강도에 대한 기본식을 다음과 같이 규정하고 있다.

$$V_{cr} = 0.503\sqrt{\sigma_{ck}} + 176P_w(d/a) \leq 0.93\sqrt{\sigma_{ck}} \quad \dots\dots\dots (1)$$

또한 전단보강철근이 부담하는 전단강도의 기본식을 다음과 같이 규정하고 있다.

$$V_s = n \cdot A_v \cdot \sigma_y = \frac{d}{s} \cdot A_v \cdot \sigma_y \quad \dots\dots\dots (2)$$

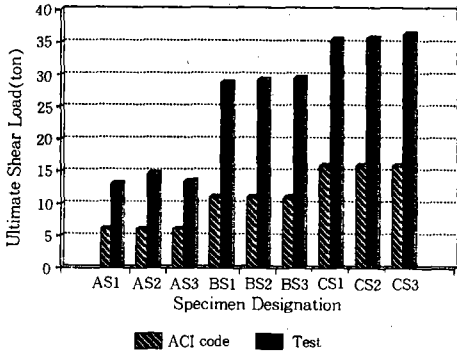


Fig. 12. Comparison of ACI code with test results for ultimate shear load

식 (1)과 (2)의 콘크리트와 전단철근의 전단강도공식으로 부터 구한 전단하중과 실험으로부터 얻은 전단하중을 Fig. 12에 나타내었다. Fig. 12에서 보듯이 전단보강이 없는 시험체의 경우 실험값이 계산값의 약 2배정도 크며 전단보강이 있는 시험체의 경우도 계산값보다 상당히 크게 나타남을 알 수 있었다. 그러므로 ACI 318-89 11-6식은 실험결과에 비해 사인장균열 강도를 과소평가하고 있으며, 콘크리트의 전단강도에 대한 ACI 기준식은 안전함을 알 수 있었다.

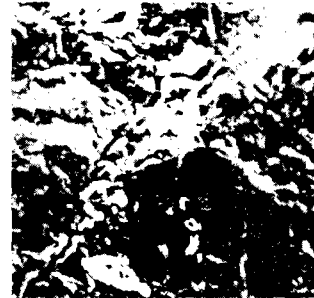
### 3. 보수실험 및 재질분석

에폭시 수지로 보수한 보수 시험체의 파괴는 사인장균열을 에폭시 수지로 보수한 부분에서 접착부의 파단으로 발생하였다. 보수전과 보수후의 시험체에 대한 실험 결과값과 ACI 기준에 의한 계산값을 정리하여 Table-14에 나타내었으며 여기서 AS는 전단보강이 없는 시험체, AS-R은 AS를 보수한 시험체, BS는 전단보강이 50%인 시험체, BS-R은 BS를 보수한 시험체이다.

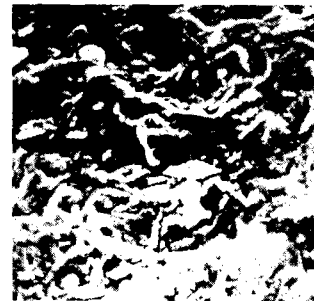
Table-14에서 나타난 바와 같이 AS-R의 극한하중은 AS에 대하여 40.3% ( $5.4/13.4 = 0.403$ ), ACI 318-89 (11-6)식에 대하여 89.0% ( $5.4/6.07 = 0.89$ )의 보수효과가 있음을 나

Table-14. Comparison of ultimate strength (repair of specimens)

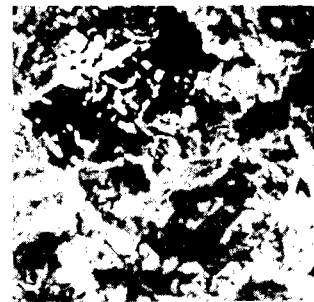
Specimens	Test result	ACI code
AS	13.4	6.07
AS-R	5.4	
BS	28.8	10.89
BS-R	5.7	



(a) Before repair (x500)



(b) After repair (x500)



(c) Normal concrete (x500)

Fig. 13. Microscopic view of fracture surface

타내고 있다. 또한 BS-R의 극한하중은 BS에 대하여 19.8% ( $5.7/28.8 = 0.198$ ), ACI 318-89 (11-6)식에 대하여 51.9% ( $5.7/10.99 =$

0.519)의 보수효과가 있음을 나타내고 있다. 손상된 시험체의 보수에 대한 실험을 통하여 보수의 효과는 스티럽의 유무에 관계없이 원래 시험체의 초기 휨균열 부근에서 파괴되고 있음을 확인할 수 있었다.

한편 전단거동실험에서 파괴된 콘크리트의 파단면과 보수후의 콘크리트 파단면 그리고 보통 강도 콘크리트의 파단면에 대한 재질분석은 전자현미경을 이용하여 실시하였다. 각 시험체의 500배율의 사진을 Fig. 13에 나타내었다. 사진에서 보는 바와 같이 고강도 콘크리트의 파단면은 보통 강도 콘크리트의 파단면보다 매끄러움을 알 수 있었다. 이것은 취성파괴 파단이지만 균열패턴이 질서정연하게 이루어지고 있다는 사실이다. 이것을 통하여 앞으로 고강도 콘크리트의 균열에 대한 방향을 제시하고 수치해석함으로서 공식을 체계화하는데 도움이 되리라 사료된다. 또한 에폭시로 보수한 후 파괴된 콘크리트 파단면은 보수전의 파단면과 거의 동일한 표면상태를 나타내고 있음도 알 수 있었다.

#### IV. 결 론

본 연구에서 고강도 철근콘크리트 보의 전단거동 실험을 통하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 고강도 콘크리트의 압축강도는 재령 28일에서 600~1200kg/cm<sup>2</sup>까지 강도 발현이 가능했으며, 이 보의 전단파괴 양상은 일반 RC 보와 거의 동일하게 발생하고 있음을 확인할 수 있었다. 또한 전단거동 실험을 통하여 전단보강 철근은 사인장균열 이전에는 전단력의 영향을 받지않고 있음도 확인할 수 있었다.
2. 전단보강이 없는 시험체는 고강도 콘크리트의 높은 취성으로 인하여 사인장균열이 발생하자마자 파괴에 이르는 반면에 전단보강이 있는 시험체는 전단보강철근이 증가 할 수록

이의 영향으로 사인장균열의 성장이 둔화되고 있음을 확인할 수 있었다.

3. ACI 318-89 규준식 11-6에 의한 콘크리트의 전단강도는 실험에 의한 전단강도보다 상당히 작게 나타났다. 그래서 ACI 318-89 규준에 의한 전단강도는 고강도 콘크리트실험에 의한 전단강도에 안전함을 확인할 수 있었다.

4. 폴리머계 보수재료인 에폭시 수지로 보수한 고강도 철근콘크리트 보의 보수실험을 통하여 보수의 효과는 스티럽의 유무에 관계없이 원래 시험체의 초기 휨균열 하중에서 파괴되고 있음을 확인할 수 있었다.

5. 고강도 철근콘크리트 보의 전단강도는 보통 철근콘크리트 보에서와 마찬가지로 휨응력과 전단응력의 비( $\sigma/\tau$ )에 영향을 받고 있다는 사실을 확인할 수 있었다.

#### 참 고 문 헌

1. Walrafen, J., "High Strength Concrete : A Material for the Future ?", Third International Symposium on Utilization of High Strength Concrete, Proceedings Vol.1, No.1, June 1993, pp. 17-27.
2. Walraven, J. C., han, N., Stroband, J., "Report on Various Tssts on Concrete with High Strength" CUR Commision C86, TU Delft, April 1993 (in Dutch).
3. ASCE-ACI Committee 426, "The Shear Strength of Reinforced Concrete Mombers", ASCE Struct. Journal, Vol. 99, No. ST6, Jume 1969, pp.1091-1187.
4. Poli, S. D., Gambarova, P. F. and Karakos, C., "Aggregate Interlock Role in R. C. Thin-Webbed Beams in Shear", ASCE Journal Struct., Vol. 113, No. 1, Jan. 1987, pp. 1-19.

5. Batchelor, V. and Kwun, M., "Shear in RC Beams Without Web Reinforcement", ASCE Struct. Journal, Vol. 107, No. ST5, May 1981, pp. 907-921.
6. Kani, G. N. J., "A Rational Theory for the Function of Web Reinforcement", ACI Journal. Vol. 66, No. 3, Mar. 1969, pp. 185-197.
7. Mphonde, A. G. and Frantz, G. C., "Shear Test of High and Low-Strength Concrete Beams", ACI Struct. Journal, July-Aug. 1984, pp. 350-357.
8. Van den Berg, F. J., "Shear Strength of Reinforced Concrete Beams Without Web Reinforcement (Part 2-Factors Affecting Load at Diagonal Cracking)", ACI Journal, Vol. 59, No. 15. Nov. 1962, pp. 1587-1600.
9. ASCE-ACI Committee 426, "The Shear Strength of Reinforced Concrete Members", ASCE Struct. Journal, Vol. 99, No. ST6, June 1973, pp.1091-1187.
10. Zsutty, T. C., "Beam Shear Strength Prediction by Amalsis of Existing Data", ACI Journal, Title No. 65-71, Nov. 1968, pp. 943-951.
11. ACI 318-89, "Building Code Requiriements for Reinforced Concrete" ACI, 1989, pp. 103.
12. Kae-Hwan, Kwak., June Suh\*. and Cheng-Tzu Thomas Hsu., "Shear-Fatigue Behavior of Steel Fiber Reinforced Concrete Beams", ACI Structural Journal, Vol.88, No.2, 1991, pp.155-160.
13. 광계환, 박종건, 장기웅, "신폴리머 철근 콘크리트 보의 전단-피로거동에 관한 연구", 대한토목학회논문집, 제13권, 제3호, 1993. 7, pp. 35-44.

(접수일자 : 1996년 3월 8일)