

# 고인성 섬유 시멘트 복합재료를 사용한 RC보의 전단보강효과

어석홍<sup>1\*</sup>, 손기민<sup>2</sup>

<sup>1</sup>창원대학교 토목공학과, <sup>2</sup>정석건설산업(주)

## Shear Performance of RC Beams Using Ductile Fiber Reinforced Cementitious Composite (DFRCC)

Seok-Hong Eo<sup>1\*</sup>, Ki-Min Son<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Department of Civil Engineering, Changwon National University

<sup>2</sup>Jeung Suck Construction Industrial Co., Ltd.

**요약** 본 논문에서는 고인성 섬유 시멘트 복합재료(DFRCC)를 이용한 철근콘크리트(RC) 보의 전단파괴거동에 대한 실험적 연구결과를 제시하였다. 이를 위해 150x300x1,000mm 크기의 보를 총 10개 제작하여 변위제어에 의한 4점휨과괴실험을 실시하였다. 주요 실험변수로는 DFRCC에 의한 보강의 유무, 보강시 그라인딩을 통한 사전 표면처리 그리고 사전 균열발생 유무를 설정하였다. 실험으로부터 재하시작 후 파괴시까지 보의 하중-처짐곡선, 전단균열 및 휨균열 발생하중 그리고 파괴시 전단강도를 측정하였다. 실험결과, DFRCC에 의한 보강시 적절한 두께와 사전 표면처리를 적절히 시행할 경우 기존 RC보의 전단강도를 약 99% 이상 효과적으로 복원할 수 있는 것으로 나타났으며, 보다 신뢰성있는 연구를 위하여 실제 노후화된 구조물에서 채취한 부재에 대한 추가적인 실험과 이론적 연구가 필요한 것으로 판단된다.

**Abstract** This paper presents the results of experimental investigations on the shear failure behaviors of reinforced concrete beams using ductile fiber reinforced cementitious composite (DFRCC). Total 10 RC beams of 150x300x1,000mm size were tested by 4-point bending under the displacement control. The main parameters of the experiment are surface treatment by grinding and preloading to the cracking point in the repair process. The load-displacement curves, diagonal tension cracking load, flexural cracking load, and shear strength were obtained. The test results showed that the DFRCC can be used effectively for restoring the shear strength approximately 99% to the original value under the condition that the appropriate thickness and surface treatment like grinding are assured. For further research, the specimens taken from real deteriorated structures will need to be tested after being repaired with DFRCC.

**Key Words** : DFRCC, Diagonal tension crack, Repair, Shear failure behavior, Shear strength.

### 1. 서론

21세기 접어들면서 토목.건축 구조물에 있어서 뿐만 아니라 모든 기술분야에 있어서 자원절약, 에너지 절감, 지구환경부하 저감 등이 전제조건이 되어 요구되는 새로운 기술에 대하여는 안전하고 안심할 수 있는 성능을 보유하면서 환경친화적인 개발목표를 설정하고 있다. 즉, 보다 높은 안전성, 구조물 자체손상의 자기제어, 사용성과 장기 내구성을 가지는 구조물을 최적으로 실현시키는

기술이 요구되고 있는 것이다. 다양화, 고도화되고 있는 사회의 요구에 부응할 수 있는 콘크리트계 재료의 한가지로써 높은 인성과 자기손상저감성을 갖추고 구조물의 안전성, 수복성 및 내구성 등을 크게 향상시킬 수 있는 고인성 섬유 시멘트 복합재료 (Ductile Fiber Reinforced Cementitious Composite, DFRCC)가 콘크리트 구조물의 유지관리 측면에서 내구성이 뛰어난 보수보강 재료로 주목받고 있다[1].

일반적으로 보수보강 재료에는 강도와 균열에 대한

본 논문은 2013~2014년도 창원대학교 교내공모과제 연구비지원에 의하여 연구되었음.

\*Corresponding Author : Seok-Hong Eo(Changwon National Univ.)

Tel: +82 10-4585-8049 email: [esh@changwon.ac.kr](mailto:esh@changwon.ac.kr)

Received August 11, 2014

Revised September 3, 2014

Accepted September 11, 2014

저항성 뿐만 아니라 모재 콘크리트와의 부착성능이 요구된다. 본 연구에서 다루고자 하는 고인성 시멘트 복합재료(DFRCC)는 일반적으로 시멘트계 재료의 취성적인 성질을 보완함은 물론 내구성을 증진시키는 장점을 지니고 있는 것으로 나타나 그 이용이 최근 10여년간 널리 증대되고 있는 실정이다[2,3]. 특히, 1970년대 이후 급속한 경제발전과 더불어 건설되었던 많은 철근콘크리트 구조물들이 노후화됨에 따라 그 안전성이 부각되고 이 문제를 해결하기 위하여 콘크리트 구조물의 보수와 보강공법에 DFRCC 재료의 적용성에 관한 연구가 활발히 진행되어 왔다. 이러한 DFRCC는 성능설계 개념의 도입에 따라 토목 및 건축의 각종 콘크리트 공학 분야에 다양한 용도의 기술개발과 기술혁신을 가져올 가능성이 큰 것으로 인식되고 있다. 그러기 위해서는 재료특성을 구조물의 특성 향상에 어떻게 관련시킬 것인지 또한 구성재료의 특성을 구조재료 및 구조시스템의 성능을 개선하는데 어떻게 효과적으로 적용할 것인지에 대해 명확하게 규명할 필요가 있다.

DFRCC는 연성이나 강도 측면에서 콘크리트보다 월등한 고기능성을 갖고 있어 콘크리트의 온도 및 건조수축 균열을 방지하고 휨강성과 전단강도 등 강도를 개선함은 물론 염분이나 기타 유해한 화학성분의 침투를 억제하여 내구성을 증진시킬 목적으로 여러 가지 연구가 이루어져 왔다. 그러나 DFRCC의 실제 적용에 있어 일관된 시방기준의 제정에 이르기 까지는 재료, 구조 및 시공방법 등에 관한 보다 전반적인 검토와 관련 데이터의 축적이 필요한 실정이다[4-6].

따라서 본 연구에서는 DFRCC의 실무적용에 있어 중요 고려사항이 될 것으로 판단되는 보강유무, 보강을 위한 사전 표면처리 유무 및 기발생한 균열의 유무 등이 RC보의 전단파괴 거동에 미치는 영향을 파악하여 보다 합리적이고 경제적인 전단보강을 위한 기초자료로 제시하고자 하는데 그 목적을 두었다.

## 2. 실험

### 2.1 실험 개요

고인성 섬유보강 시멘트복합재료(DFRCC)에 의한 전단보강 효과를 파악하기 위하여 보강여부, 기존 균열의 존재 여부 그리고 보강시 표면처리의 유무를 주요 변수로 설정하였다. 보강은 상면을 제외한 세면에 U자형으로 두께 20mm의 DFRCC를 흡손으로 시공하고 피막양생제

를 도포하였다. 기존의 연구결과에 의하면 모재의 일체성과 경제성을 고려할 때 피복두께 정도의 보강이 적합한 것으로 나타난 바 있다[7]. 기존 구조물에 발생한 균열이 보강효과에 미치는 영향을 파악하기 위하여 파괴하중의 80%를 미리 가하여 균열을 발생시키고 제하하였다. 보강전후의 전단강도 증진효과를 파악하기 위하여 실험결과를 이론값과 비교하여 검토하였다.

### 2.2 사용재료

본 실험에서는 국내 S사의 1종 보통포틀랜드 시멘트를 사용하였으며, 혼화제는 사용하지 않았다. 콘크리트의 배합은 W/C비 51.8%, 굵은 골재의 최대치수 25mm로 하였으며 28일간 표준양생을 실시한 후, KS F 2453에 의한 평균 압축강도는 17.21MPa 이었다. 인장 주철근은 D10(SD400)을 사용하였다. 보수보강용 모르타르(HRM-400)와 수용성 신구콘크리트 접착제(HRM-50)를 사용하여 기제작한 RC보의 3면을 보강하였다. Table 1 - Table 3에 콘크리트 배합표와, 보수보강용 모르타르 및 수용성 신구콘크리트 접착제의 재료특성을 각각 나타내었다.

[Table 1] Concrete mix proportions

W/C (%)	S/A (%)	Unit weight of concrete ( $kg/m^3$ )				
		W	C	S	G	AD
51.8	46.3	165	319	833	1003	2.23

[Table 2] Material properties of DFRCC (HRM-400)

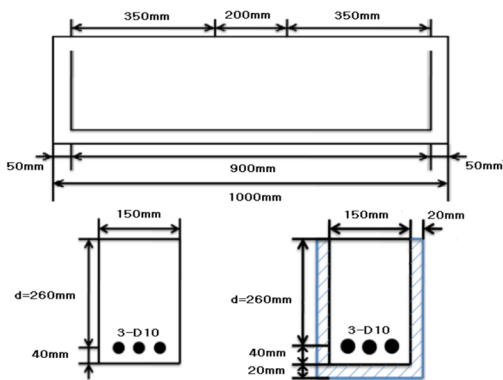
Test item		Test results
Compressive strength	3 day	27.1 MPa
	7 day	39.0 MPa
	28 day	46.7 MPa
Flexural strength	3 day	6.2 MPa
	7 day	8.8 MPa
	28 day	9.5 MPa
Bond strength	Standard condition	1.7 MPa
	After thermo contrast	1.4 MPa
Alkali resistance		48.0 MPa
Length Variation	28 day	0.06 %
Water absorption coefficient		$0.072 kg/m^2 \cdot h^{0.5}$
Carbonation resistance		1.1 mm
Amount of water percolation		6.4 g
Water vapor resistance		0.3 m
Chloride ion penetration resistance		833 coulombs

[Table 3] Material properties of bonding agent (HRM-50)

Bond strength (MPa)			Solids content (22%)	Specific gravity
3 day	7 day	28 day		
88	121	137	22	1.03

### 2.3 실험체의 제작

본 실험에 사용된 실험체는 Fig. 1과 같이 높이 300mm, 폭 150mm의 직사각형 단면으로 총 길이 1m 인 깊은 보로 전단경간비(a/d)는 1.3이다. 부착 및 정착파괴 혹은 휨파괴를 방지하고 전단파괴를 유도하기 위하여 보의 양단에 12mm 두께의 강판을 배치하고 주철근을 용접하여 정착하였다.



[Fig. 1] Specimen configuration

DFRCC의 보강은 보의 윗면을 제외한 양측면과 하면의 3면을 U자형으로 보강하였다. 이는 실제 보의 상면에는 슬래브가 일체로 되어 있음을 감안한 것이다. 실험부재의 기호분류를 위하여 표면처리 유무에 따라 S와 N으로 구분하였으며, 초기균열을 발생시킨 경우 C를 추가로 붙여 나타내었다. B-O는 아무런 처리와 보강을 하지 않은 보를 나타내며 각각의 부재에 대하여 동일한 실험체를 2개씩, 총10개의 실험체를 제작하였다. Table 4에 각 실험부재의 기호분류표를 나타내었다.

[Table 4] Classification of the specimens

Specimen	DFRCC	Crack	Surface treatment
B-O	X	X	X
B-20-N	O	X	X
B-20-S	O	X	O
B-20-CN	O	O	X
B-20-CS	O	O	O

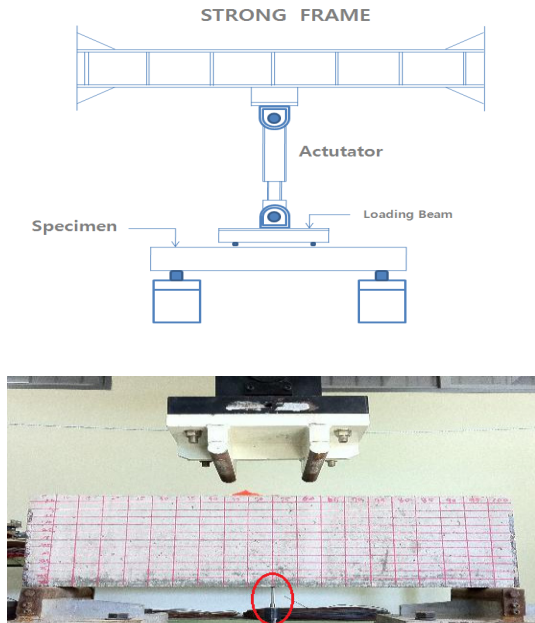
실험체는 총 10개의 보를 제작하여 28일 동안 습윤양생한 후 초기균열이 필요한 4개의 보에 이론적인 예상 파괴하중의 80%를 가하여 초기 사인장 전단균열을 발생시켰다. 그 후, 초기균열이 있는 경우와 없는 경우 각각 2개씩 모두 4개의 표면처리가 필요한 보에 그라인더를 사용하여 표면처리를 하였다. 보강을 하지 않는 기준 실험체 2개를 제외하고 DFRCC 보강이 필요한 나머지 8개의 보는 DFRCC를 20mm 두께로 미장처리를 함으로써 보강하였다.



[Fig. 2] Surface treatment and strengthening by DFRCC

### 2.4 재하방법

하중은 Fig.3과 같이 유압 서보 액츄에이터를 사용하여 2mm/min의 속도로 변위제어 방식으로 파괴시까지 가력하였다. 가력은 3등분할 가력으로 양단지점에서 각각 350mm 떨어진 위치에서 가력하였으며 양단지점은 부재 끝단에서 50mm위치에 설치하였다. 변위측정을 위하여 보의 중앙하면에 변위계(LVDT)를 설치하였다.



[Fig. 3] Schematic diagram and view of loading

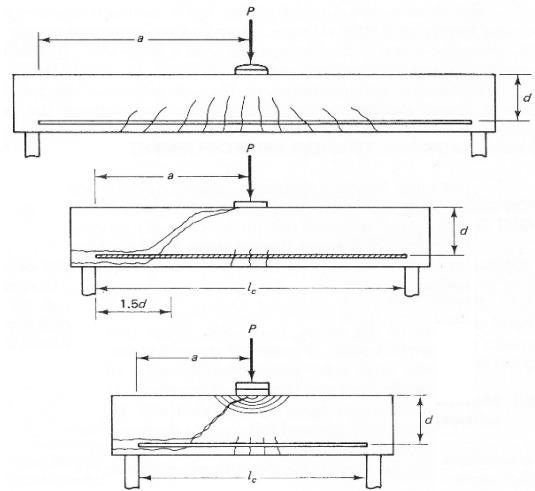
### 3. 이론적 고찰

#### 3.1 전단파괴 메카니즘과 전단강도

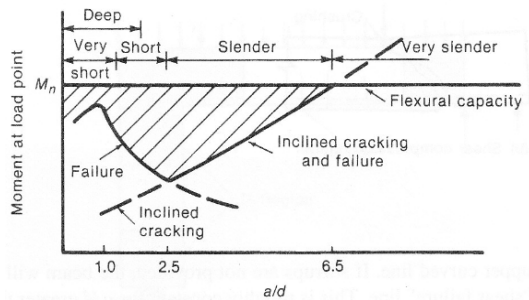
Fig. 4는 1965년 Leonhardt와 Walther에 의해서 실험된 10개의 보에 대한 파괴시의 균열발생 양상을 도시한 것으로 4점 하중이 작용하는 단순 지지된 보의 전단파괴 메카니즘이 아래와 같이 전단/경간 비에 따라 대략 3종류로 구분됨을 제시하였다. 보에는 스티럽 전단보강을 하지 않았으며 재료의 특성은 거의 동일하였다[8].

즉,  $3 < a/d < 7$  인 경우, 경사균열이 발달하자마자 보 거동으로 파괴되며, 균열하중을 추가적으로 지지할 수 있는 후속적인 아치 메카니즘은 발달하지 못한다.  $2 < a/d < 3$  인 경우, 경사균열하중보다 높은 하중에서 압축영역의 전단압축 또는 휨인장 파괴가 일어나며, 보통 아치거동으로 파괴된다.  $a/d < 2.5$  인 경우, 아치거동으로 인해서 콘크리트가 분쇄되거나 찢어짐에 의해서 파괴된다.

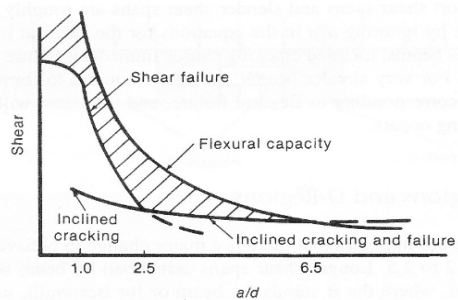
위의 실험결과를 바탕으로 극한모멘트와 극한전단력을 전단경간 대 깊이 비로 표현된 관계가 Fig. 5에 주어졌다. Fig. 5를 살펴보면  $1.5 < a/d < 7$ 인 경우에는 하중이 증가하여 보의 공칭 휨모멘트 강도에 도달하기 전에 보는 전단에 의해서 파괴되어 전단이 설계를 지배하게 된다.



[Fig. 4] Failure patterns as a function of beam slenderness[4]



(a)



(b)

[Fig. 5] Effect of  $a/d$  ratio on shear strength of beams without stirrups[4]

- (a) Moments at cracking and failure
- (b) Shear at cracking and failure

보거동에 의한 휨과 전단 저항력은 굽은 점선으로 표시되어 있다. 측정된 극한값들과 비교해보면  $a/d$ 가 3보다 크게 되면 보거동이 지배하는 것을 알 수 있다.  $a/d$ 가 7보

다 크게 되면 보의 전단강도가 충분하여 하중이 증가하여 단면의 공칭 휨모멘트 강도에 도달할 때까지 전단 파괴가 일어나지 않으므로 휨이 보의 강도를 지배하는 것을 알 수 있다. 실험된 보들의 이론적인 휨강도와 측정된 전단강도간의 차이는 음영으로 표시되어 있다. 파괴시 전단강도와 휨모멘트의 음영부분은 각각 전단 때문에 보의 전단강도와 휨강도가 감소되는 것을 보여주고 있으며, 이런 경우에 복부전단철근을 배치하여 보가 공칭휨강도  $M_u$ 에 충분히 도달하도록 해야 한다. Fig. 5에서 실험한 보의 철근비는 2%로 일정하였으나 철근비를 변화시켜가면서 1966년에 수행한 Kani[9]의 실험은 전단경간에 많은 휨철근이 배치되게 되면 작용하는 하중 하에서 균열 폭이 감소되기 때문에 골재의 맞물림이나 주철근의 다월 작용에 의해서 더 큰 하중을 지지할 수 있는 것을 보여주었다.

콘크리트 구조설계 기준에서 보의 공칭 전단강도  $V_n$ 는 콘크리트의 전단강도  $V_c$ 와 전단보강철근의 전단강도  $V_s$ 의 합으로 계산하도록 아래 식(1)과 같이 규정되어 있다.

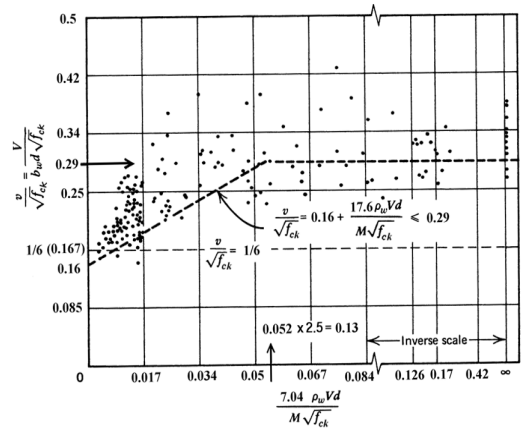
$$V_n = V_c + V_s \quad (1)$$

보가 휨-전단 균열의 형성에 의해서 파괴되는 경우에 전단강도를 좌우하는 주된 요소들, 즉, 콘크리트의 인장강도, 인장철근비 그리고 전단/경간 비를 조합하여 아래와 같은 반경험적 식을 제시하고 있다.

$$V_c = (v_c)_{bwd} = (0.16\lambda \sqrt{f_{ck}} + 17.6\rho_w \frac{V_u d}{M_u}) b_w d \quad (2)$$

$$\leq (0.29\lambda \sqrt{f_{ck}}) b_w d$$

식(2)는 또한 복부-전단 균열에 의해서 파괴가 일어나는 보의 경우에도 안전측의 전단강도를 계산하므로 어떤 설계조건에도 안전하게 사용할 수 있다. 윗 식에서  $M_u$ 가 커지게 되면, 두번째 항이 작아져서,  $V_c = 0.16\lambda \sqrt{f_{ck}} b_w d$ 에 접근하게 된다. 그러나 만약에  $M_u$ 가 0에 접근하게 되면, 두번째 항이 매우 커져 이 경험식은 더 이상 적용되지 못하고 상한한계  $V_c = 0.29\lambda \sqrt{f_{ck}} b_w d$ 에 의해서 제한되게 된다. Fig. 6은 식(2)의 계산결과와 실험결과를 무차원 값으로 비교하여 나타낸 것이다.



[Fig. 6] Correlation of Eqn.(2) with test results[7]

깊은 보에서는 타이드-아치 작용에 의해 전단강도가 증가하기 때문에[10], 콘크리트구조설계에서는 식(2)에 의해 계산한 보통의 콘크리트 전단강도  $V_c$ 에  $M_u/V_u d$ 의 비에 따라 변하는 증가계수를 곱하여 아래 식(3)으로 전단강도를 구하도록 하였다.

$$V_c = (3.5 - 2.5 \frac{M_u}{V_u d}) (0.16 \sqrt{f_{ck}} + 17.6\rho_w \frac{V_u d}{M_u}) b_w d \quad (3)$$

여기서 증가계수  $(3.5 - 2.5 M_u/V_u d)$ 는 2.5 이하여야 하며,  $V_c$ 는  $0.5 \sqrt{f_{ck}} b_w d$ 보다 큰 값을 취할 수 없다. 식(3)에서  $M_u$ 와  $V_u$ 는 계수하중에 의해 위험단면에서 동시에 발생하는 휨모멘트와 전단력이다.

### 3.2 전단보강 효과와 전단내력

DFRCC에 의해 보강된 보의 전단보강 효과를 고찰하기 위하여 아래의 식(4)로 나타내어지는 전단내력 산정식을 이용하였다[11]. 식(4)는 보강전의 콘크리트가 부담하는 전단내력과 DFRCC에 의한 보강부분의 전단내력 두 부분의 합으로 이루어져 있다. 콘크리트가 부담하는 전단내력은 식(4a)와 같이 깊은 보에 적용되는 산정식을, DFRCC 보강에 의한 전단내력은 식(4b)를 각각 사용하였다. 보강된 보의 전체 전단내력을 산정하기 위한 상세한 식을 정리하면 아래와 같다.

$$V_{yd} = V_{cd} + V_{fd} \quad (4)$$



$$V_{cd} = \beta_d \cdot \beta_p \cdot \beta_a \cdot f_{dd} \cdot b_w \cdot d \quad (4a)$$

$$\begin{aligned} \beta_d &= (1000/d)^{1/4} \\ \beta_p &= (1 + \sqrt{100\rho})/2 \\ \beta_a &= 5/(1 + (a/d)^2) \\ f_{dd} &= 0.19 \sqrt{f_{ck}} \end{aligned}$$

$$V_{fd} = (f_{tyd} / \tan \beta_u) \cdot 2t \cdot z \quad (4b)$$

여기서,

- $V_{cd}$ : 콘크리트가 부담하는 전단내력 ( $kN$ )
- $V_{fd}$ : DFRCC가 부담하는 전단내력 ( $kN$ )
- $b_w$ : 복부의 폭 ( $mm$ )
- $z$ : 유효높이  $d/1.15$  ( $mm$ )
- $f_{ck}$ : 콘크리트의 설계기준 압축강도 ( $MPa$ )
- $\rho$ : 인장철근비
- $a$ : 전단경간길이 ( $mm$ )
- $f_{tyd}$ : DFRCC의 인장항복강도 ( $MPa$ )
- $\beta_u$ : 축방향과 균열면이 이루는 각도
- $t$ : DFRCC 보강두께 ( $mm$ )

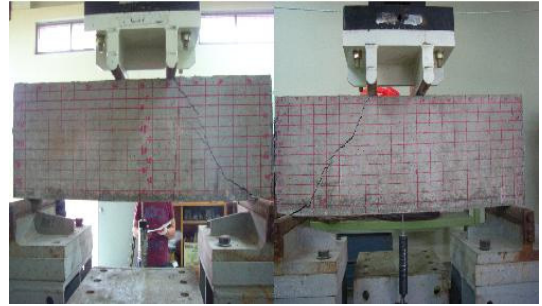
를 각각 나타낸다.

## 4. 실험결과 및 분석

### 4.1 파괴양상

국부적인 응력집중으로 인한 지점부 파괴가 발생한 B-20-S 및 B-20-CN 부재중 각1개씩 두 개의 실험체를 제외하면 대부분의 보에서 중앙부 가력점 하부에서 초기 휨균열이 발생한 후에 사인장 균열이 발생하였으며 하중 증가와 함께 균열 폭이 점차 증가하면서 상부 가력점과 지점방향으로 진행되어 극한 전단강도에 도달하여 파괴되는 취성적인 파괴양상을 보였다. Fig. 7에 각 실험체의 파괴 양상을 나타내었다. 보강을 하지 않은 실험체인 B-0에서는 몇 개의 경사균열 중 1개의 경사균열이 진전되어 파괴에 도달하였으며, DFRCC로 보강한 실험체에서는 보강재 표면에 미세한 경사균열이 발생하고 파괴 직전에 경사균열이 한부분에 집중적으로 나타난 후에 취성적인 전단압축파괴 양상을 보였다. 파괴후의 실험체에

서 콘크리트 모재와 보강재 간의 미끄러짐에 의한 부착 파괴 현상은 관찰되지 않아 콘크리트 모재와 보강재의 일체성은 표면처리 유무에 관계없이 확보된 것으로 판단되었다.



(a)



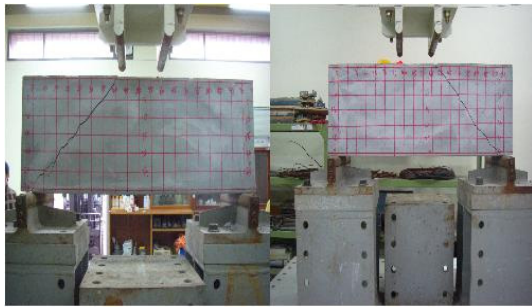
(b)



(c)



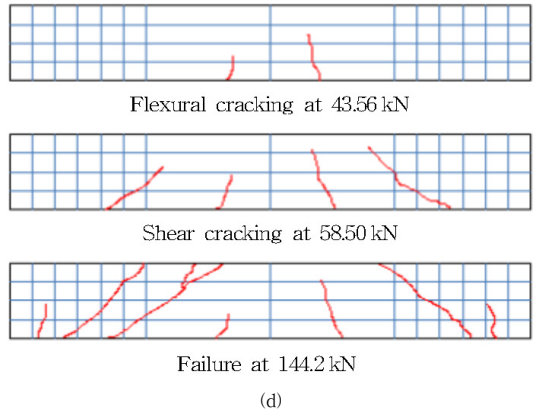
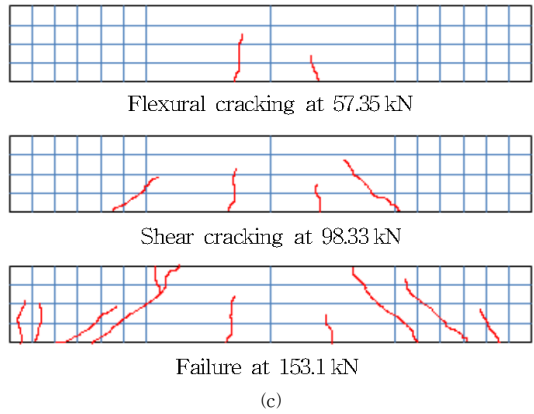
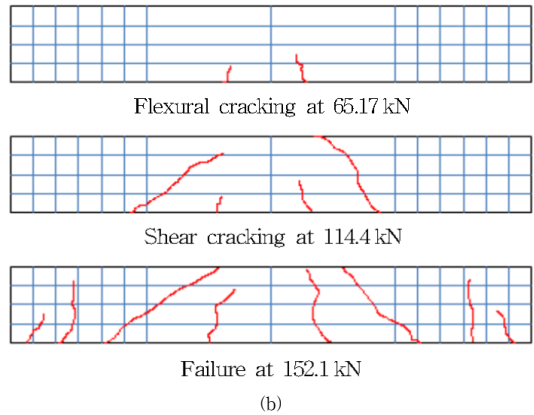
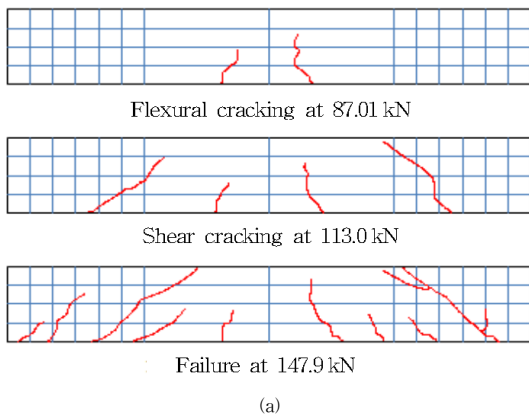
(d)

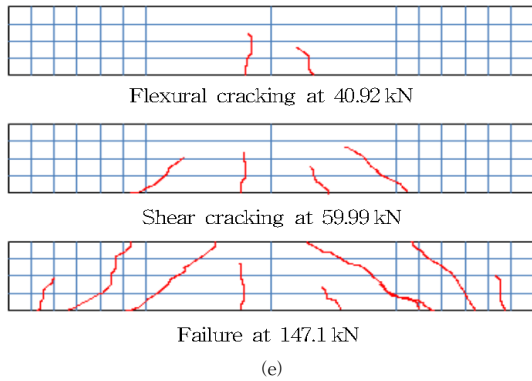


(e)

[Fig. 7] Cracking and failure modes of the beams  
 (a) Reference beams not repaired (B-O) (b) Repaired without surface grinding (B-20-N)  
 (c) Repaired with surface grinding (B-20-S) (d) Cracked beam repaired without surface grinding (B-20-CN) (e) Cracked beam repaired with surface grinding (B-20-CS)

Fig. 8은 휨균열과 전단균열의 발생하중 그리고 파괴하중에서 각 단계별 균열발생 현황을 나타낸 개략도로서 Fig. 7의 사진에서 보이지 않는 미세균열과 파괴시까지의 균열성장 과정을 살펴볼 수 있다. 초기균열이 없는 경우 보수유무에 상관없이 평균 10.3 kN에서 전단균열이 발생한 데 비하여 초기균열을 가진 보의 경우 약 6.0 kN에서 전단균열이 발생하여 전단균열 발생하중에 미치는 표면처리의 유무에 따른 영향은 유의미하게 나타나지 않았다.

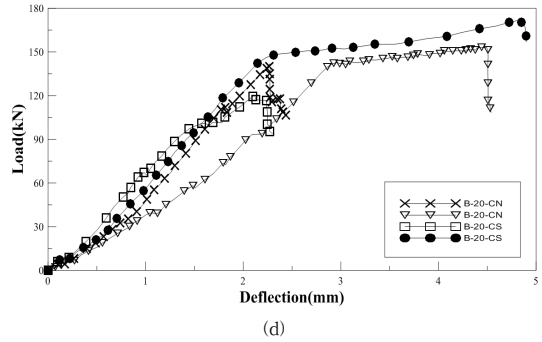
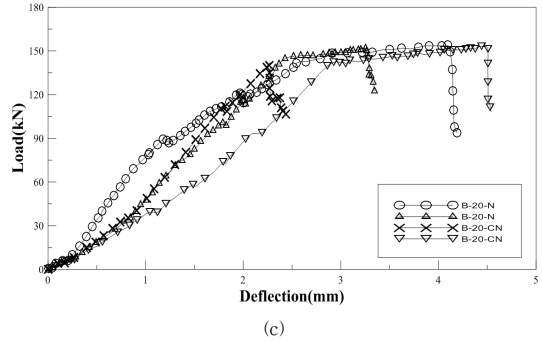




[Fig 8] Cracking patterns at each load stage  
 (a) Reference beams not repaired (B-O) (b) Repaired without surface grinding (B-20-N) (c) Repaired with surface grinding (B-20-S) (d) Cracked beam repaired without surface grinding (B-20-CN) (e) Cracked beam repaired with surface grinding (B-20-CS)

4.2 하중변위곡선

각 부재별 하중변위곡선 측정결과를 Fig. 9와 Table 5에 각각 정리하여 나타내었다. Fig. 9(a)에서 기준보와 DFRCC 보강처리한 보의 최대하중 평균값을 비교하였을 때, 보강처리한 보의 경우에 최대하중이 2.84% 증가하였으며, 파괴시 연성이 증가됨을 알 수 있었다.



[Fig 9] Comparisons of the load-deflection curves  
 (a) Reference beams VS. repaired beams (b) Load-deflection curve following existence surface treatment before reinforcement (c) Load-deflection curve following existence of early-age-cracking (d) Load-deflection curve following existence of surface treatment after early-age-cracking

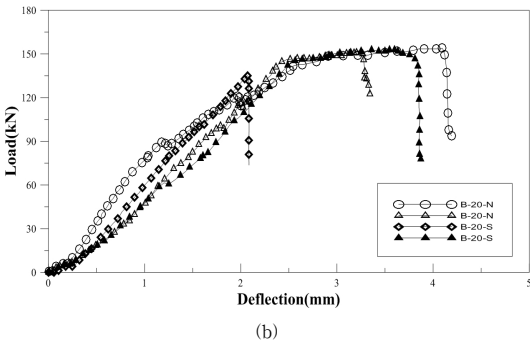
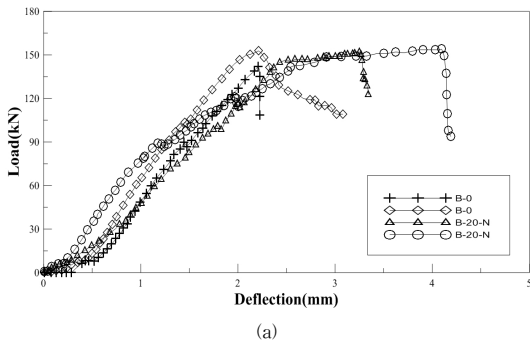


Fig 9(b)는 보강시 표면처리 유·무에 따른 하중-처짐 곡선을 비교한 것으로 표면처리 후에 DFRCC 보강한 보의 최대하중 평균값이 표면처리 과정없이 보강한 보의 경우에 비해 0.657% 증가한 것으로 나타났다. 표면처리 효과가 이처럼 미미하게 나타난 것은 실험에 사용된 보가 장기간 공용으로 노후화된 실제 구조물에서 채취한 것이 아니라 실험실에서 제작된 시험체의 표면상태가 보강재와의 부착이 양호한 상태인 것에 기인하는 것으로 판단된다. 따라서 실제 구조물에서 부재 표면의 열화상태를 고려할 때에는 표면처리에 의한 보강효과의 정도는 확실히 더 크게 나타날 수 있을 것으로 추정된다.

Fig. 9(c)는 보강전 부재에 초기균열이 존재하는 경우와 없는 경우의 보강효과를 비교한 것으로 초기균열이 없는 경우의 최대하중 평균값이 초기균열이 존재하는 경우 보다 5.48% 큰 것으로 나타났다. 하지만, 초기균열이 존재하는 보를 DFRCC로 보강할 경우 기준보의 약



97.5%에 달하는 전단강도를 회복하는 결과를 보여주었다. 이는 실제 구조물에서 초기균열이 존재하는 경우에도 DFRCC에 의한 보강시 전단강도의 회복이 가능함을 나타낸다고 할 수 있다.

Fig. 9(d)는 부재에 초기균열이 존재하는 경우의 DFRCC 보강시 사전 표면처리의 유무에 따른 하중-처짐 곡선을 나타낸 것으로 표면처리를 하고 보강한 보의 최대하중 평균값이 표면처리를 하지 않고 보강한 보의 경우에 비하여 약 2.01% 증가하였다. 이는 DFRCC 보강 자체의 유무에 의한 강도증가(2.84%) 보다 작지만 표면처리를 함으로써 모재와 보강재사이의 부착력을 증가시켜 전단강도를 증가시킬 수 있음을 보여주고 있다. 실제 노후화된 구조물에서 부재표면의 열화상태를 고려하였을 때 강도증진효과는 더 클 것으로 평가된다.

[Table 5] Cracking load and maximum load at failure

Specimen	Flexural cracking load (kN)	Shear cracking load (kN)	Maximum load (kN)
B-0	87.01	113.0	147.9
B-20-N	65.17	114.4	152.1
B-20-S	57.35	98.33	153.1
B-20-CN	43.56	58.50	144.2
B-20-CS	40.92	59.99	147.1

### 4.3 설계기준 및 해석값과의 비교분석

보강전후의 전단강도를 비교하기 위하여 식(2), 식(3) 및 식(4)로부터 각각 보강 전후의 전단강도를 계산하고 그 결과를 실험값과 비교하여 Table 6에 정리하였다. DFRCC 보강을 하지 않은 보의 경우에 있어서 깊은 보의 타이드-아치 작용에 의한 전단강도 증가를 고려한 식(3)과 식(4)에 의한 계산값이 일반적인 전단강도 기준식인 식(2)에 의한 계산값 보다 각각 1.87, 2.32 배 큰 것을 알 수 있으며, 실험값에 비하여 매우 안전측의 보수적인 계산값임을 알 수 있다. DFRCC 보강을 한 보의 전단강도는 실험값이 식(4)에 의한 계산값에 비하여 평균 1.84 배 큰 것으로 나타났다. 초기균열이 없는 경우 DFRCC 보강에 의한 전단강도 증진효과는 약 3.2%로 나타났으며, 초기균열이 존재하는 경우에는 DFRCC 보강을 하였을 때 기준 보(B-0)의 약 98.5%에 달하는 전단강도를 나타내었다. 식(4)에 근거하여 계산하면 DFRCC 보강에 의한 전단강도는 21.6% 증가하나 실험에서는 초기균열과 표면처리

유무에 따라 기준보 대비 -2.5%~3.5% 증감효과를 보여 전단강도 기준식 자체가 매우 보수적임을 알 수 있다.

[Table 6] Comparison of shear capacity between measured and predicted values

Specimen	Shear capacity (kN)			Measured, $V_{u,ms}$	$\frac{V_{u,ms}}{V_{u,pr}}$
	Predicted, $V_{u,pr}$				
	Eq.(2)	Eq(3)	Eq(4)		
B-0	28.7	53.8	66.6	147.9	2.22
B-20-N	36.3	66.0	81.0	152.1	1.88
B-20-S				153.1	1.89
B-20-CN				144.2	1.78
B-20-CS				147.1	1.82

## 5. 결론

본 연구는 최근 10여 년간 국내 RC구조물의 보수·보강분야에 널리 적용되어 오고 있는 DFRCC 재료를 사용하여 RC보의 전단보강효과를 규명하고자 전단보강시, 기존콘크리트의 표면처리효과, 초기균열발생 유무에 따른 DFRCC의 전단보강 효과를 파악하기 위한 실험을 수행하였으며 그 결과를 정리하면 다음과 같다.

1. 보강을 하지 않은 기준 보에 비해 DFRCC 로 보강한 보에서 표면처리와 초기균열 유무에 상관없이 전체적으로 평균 0.83% 더 높은 전단강도 값이 확인되었고 파괴시 항복고원인 길게 형성되어 보다 연성적인 파괴를 나타내었다. 따라서 전단보강이 되어있지 않은 깊은 보의 취성적인 파괴모드를 DFRCC 보강을 통해 연성적으로 바꿀 수 있을 것으로 사료된다.
2. 초기균열의 존재가 보강효과에 미치는 영향을 알아보기 위한 실험으로 부터 초기균열이 없는 보의 경우에는 표면처리 유무에 상관없이 평균 약 3.2% 전단강도가 증가하였으며, 초기균열이 존재하는 경우에는 평균 1.5% 감소하는 것으로 나타났으나 DFRCC 보강에 의하여 약 98.5%의 전단강도 복원 효과를 확인할 수 있었다.
3. DFRCC에 의한 보강전에 그라인드를 사용한 사전 표면처리의 효과를 알아보기 위한 실험으로 부터 초기균열이 없는 경우에는 표면처리에 의한 전단강도 증진효과가 0.66%, 초기균열이 있는 경우에는 2.01%로 각각 나타나 실제 구조물 표면의 열화상

태를 고려할 때 본 연구에 사용된 실험체의 표면은 매우 견전하다고 볼 수 있으므로 실제 구조물에서는 표면처리에 의한 모재와 보강재 사이의 부착강도 증가가 더 클 것으로 예상되고 이에 따른 구조물의 진단강도 증가가 예상된다.

4. 보다 실용적인 연구결과를 위하여 콘크리트 표면의 부식, 박리, 박락등의 열화현상과 균열이 존재하여 강도저하가 발생한 실제 노후화 된 보를 대상으로 DFRCC 보강한 경우에 대하여 추가적인 실험이 필요한 것으로 사료된다.

## References

- [1] Hyun-Do Yun, Wan-Shin Park, Il-Seong Yang, Byung-Chan Han and Hirosh Fukuyama, "State-of-the-art of Ductile Fiber Reinforced Cementitious Composites, Part2: Structural Performance and Application", Journal of the Korea Concrete Institute, Vol.17, No.1, pp. 36-43, 2005.
- [2] Gum-Sung Ryu, Kyung-Taek Koh, Jung-Joon Park, Su-Tae Kang, Sung-Wook Kim and Sung-Yong Park, "A Evaluation on the Field Application of Ductile Fiber Reinforced Cement Composites", Proceedings of the Korea concrete Institute, Vol.20, No.1, PP. 941-944, 2008.
- [3] Gum-Sung Ryu, Kyung-Taek Koh, Jung-Joon Park, Su-Tae Kang, Hyun-Jin Kang and Sung-Wook Kim, "Evaluation on the Durability Fiber Reinforced Cementitious Composites(DFRCC)", Proceedings of the Korea concrete Institute, Vol.21, No.1, PP. 535-536, 2009.
- [4] Jae-Yeon Lee, Hyun-Do Yun, Esther Cheon, Dong-Yub Song, "Characteristics and Applications of High Performance Fiber Reinforced Cementitious Composites", Journal of the Korea Infrastructure Safety Corporation, Vol.20, No. winter 2, pp. 96-113, 2005.
- [5] Byung-Chan Han, Jae-Hwan Kim, Seong-Chan Lim, Naoharu Mori and Young-Jin Kwan, "Repair Method of RC Structures Using Crack Control Type of DFRCC", Journal of the Korea Concrete Institute, Vol.18, No.1, pp. 56-61, 2006.
- [6] Yun-Yong Kim, Jeong-Su Kim, and Kwang-Ryeon Kim, "On Engineered Cementitious Composites(ECC) a Review of the Material and Its Applications", Journal of the Korea Concrete Institute, Vol.16, No.5, pp. 64-72, 2004.
- [7] Jang-Ho Kim, Yun-Mook Lim, Kyong-Min Lee, Jeong-Ho Park and Jong-Suk Hong, "Experimental Study of

*Flexural Behavior in RC Beams with strrup on Repair Thickness of DFRCC*", Proceedings of the Korea concrete Institute, Vol.17, No.2, PP. 539-541, 2005.

- [8] Leonhardt, F. and Walther, "Reducing the Shear Reinforcement in Reinforced Concrete Beams and Slabs", Magazine of Concrete Research, Vol. 17, No. 53, pp. 187-198, December 1965.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.1680/mac.1965.17.53.187>
- [9] Kani, G.N.J., "Basic Facts Concerning Shear Failures", Journal ACI, Vol.63, June 1966, pp. 675-692.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.14359/7644>
- [10] Young-Mook Yun, "Basic Concepts of Strut-Tie Model Approach", Workshop Proceedings of Specializing Committee, Korea Concrete Institute, pp. 38-50, 2006.
- [11] Tetsuya Ogasawara, Chun-Il Kim, Hisao Tsunokake and Hajime Ouchi, "An Experimental Study on the Shear Strengthening Effects of Pier Member by Ductile Fiber Reinforced Cementitious Composites", Proceedings of the Japan Concrete Institute, Vol. 35, No. 2, pp. 1405-1410, 2013

## 어 석 흥(Seok-Hong Eo)

[정회원]



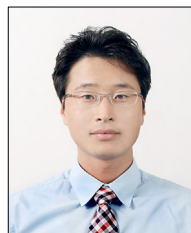
- 1987년 2월 : 한국과학기술원 토목공학과 (공학석사)
- 1991년 8월 : 한국과학기술원 토목공학과 (공학박사)
- 1992년 3월 ~ 1993년 2월 : 미국 일리노이대학교 토목공학과 Post-Doc.
- 1993년 3월 ~ 현재 : 창원대학교 토목공학과 교수

<관심분야>

콘크리트구조, 장기거동 및 성능평가

## 손 기 민(Ki-Min Son)

[정회원]



- 1997년 10월 : 울산과학기술대학교 토목공학과 (공학사)
- 2013년 2월 : 창원대학교 산업대학원 토목공학과 (공학석사)
- 2013년 3월 ~ 현재 : 창원대학교 대학원 토목공학과 (박사과정)
- 2007년 3월 ~ 현재 : 정석건설산업(주) 대표이사

<관심분야>

콘크리트 보수보강