

# 순환굵은골재 콘크리트와 이형철근의 부착거동시 손상단계 분석

## Analysis of Damage Levels with Bond Performance between Reinforcement and Recycled Coarse Aggregate Concrete

이민정\*      윤현도\*\*      장용현\*      최기선\*\*\*      유영찬\*\*\*\*      이도현\*\*\*\*\*  
Lee, Min Jung      Yun, Hyun Do      Jang, Yong Heon      Choi, Ki-Sun      You, Young Chan      Lee, Do Heun

---

### ABSTRACT

One of the most important requirements for reinforced concrete constructions is the bond behavior between concrete and reinforcement. In this study, the positions (i.e., vertical, horizontal) and the locations (i.e., 225mm and 75mm) of reinforcement were considered as a main test parameter. The ready mixed recycled aggregate concrete concrete with specified strength of 21MPa was prepared with different replacement ratio(i.e 0%, 100%) of recycled coarse aggregate. From the test results, it was bond that under the same mix proportion (i.e., the mix proportions are the same, except for deformed bars position), the bond strength between the recycled coarse aggregate concrete and the reinforcement has obvious relation with reinforcement position. Also, the specimens of top position showed a lower bond stress than that provided in CEB-FIP Code.

### 요 약

본 연구에서는 철근의 배근방향(수직, 수평) 및 위치(상부근, 하부근)를 주요 변수로 하여 이형철근과 순환굵은골재와의 부착거동을 단계별로 평가하기 위한 실험을 실시하였다. 본 연구를 통하여 얻어진 실험결과를 종합해 보면, 수평 시험체의 상부철근 시험체의 경우 하부철근 시험체 보다 부착강도가 저하되는 것으로 나타났으며, 이는 굵은골재의 편중현상 및 상부철근 하부에서 부유물(Laitance) 발생에 따른 것으로 판단된다. 또한, 수직 시험체 및 수평철근 시험체의 부착에너지를 비교한 결과 수평 상부철근 시험체의 경우 수직 및 수평 하부철근 시험체에 비하여 부착에너지가 감소한 것으로 나타났다.

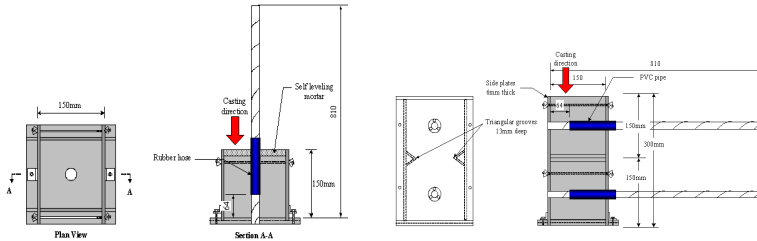
- 
- \* 정회원, 고지능 콘크리트 구조연구실, 석사과정
  - \*\* 정회원, 충남대학교, 건축공학과, 교수
  - \*\*\* 정회원, 한국건설기술연구원 연구원
  - \*\*\*\* 정회원, 한국건설기술연구원 책임연구원, 공학박사
  - \*\*\*\*\* 정회원, 대한주택공사 주택도시연구원 선임연구원, 공학박사

## 1. 서론

철근콘크리트 구조에서 철근의 이음/정착은 시공상 불가피한 것으로, 콘크리트와 철근의 합성거동 및 일체성 확보를 위한 부착/정착강도의 확보는 매우 중요한 선결사항이 된다. 본 연구에서는 순환골재를 사용한 콘크리트 연구의 일환으로 철근과 순환골재콘크리트의 부착강도 평가를 위한 실험연구를 계획하였으며 실험으로부터 얻어진 부착강도를 CEB-FIP Model code<sup>1)</sup>(이하 CEB-FIP)에 의한 계산값과 비교·분석함으로써 순환골재 콘크리트의 구조기준 작성에 관한 기초자료를 제공하고자 한다.

## 2. 시험

본 연구에서는 순환골재 치환율(0, 100%) 및 철근 배근방향(수직, 수평)/위치(상단근, 하단근)에 따른 부착거동 특성을 평가하기 위해 KS F 2441<sup>2)</sup> 규격을 참고하여 표 1과 그림 1에 나타난 바와 같이 총 17개의 시험체를 계획하였다. 콘크리트의 설계기준강도는 21MPa로 계획하였으며 콘크리트의 배합조건은 표 3에 나타난 바와 같고, 콘크리트의 역학적 특성은 표 4와 같다. 철근의 기계적 특성은



(a) 수직 시험체 (b) 수평 시험체  
그림 1. 시험체의 종류(단위 : mm)

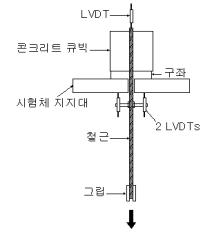


그림 2. 시험체의 하중가력 및 측정장치

표 1. 시험체 일람표

Type	순환골재 치환율 (%)	수직 시험체	수평 시험체	
			HT	HB
순환골재 치환율 (%)	A0	2	2	2
	A100	2	2	2

표 2. 사용골재의 물리적 성질

구분	입경 (mm)	절건밀도 (g/cm <sup>3</sup> )	흡수율 (%)	단위용적중량 (kg/ℓ)
천연굵은골재	25	2.69	0.57	1.55
혼합굵은골재*	25	2.49	3.00	1.51
순환굵은골재	25	2.59	1.59	1.61
재생굵은골재	25	2.28	6.28	1.30

\* 혼합굵은골재=순환굵은골재(2.5):재생굵은골재(1.0)

표 3. 콘크리트 배합표

f <sub>ck</sub> (MPa)	순환골재 치환율 (%)	W/C (%)	S/a (%)	단위중량(kg/m <sup>3</sup> )						
				W	C	S	G1 (천연)	G2 (순환)	G2 (재생)	AD
21	0	51.0	47.8	177	347	827	937	0	0	2.43
	0						630	252		

표 4. 콘크리트의 기계적 성질

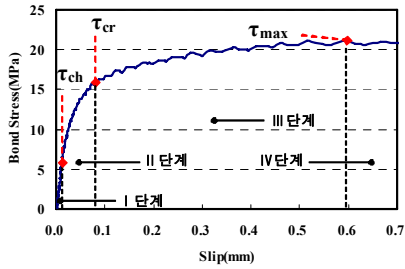
f <sub>ck</sub> (MPa)	순환골재 치환율 (%)	f <sub>cu</sub> (MPa)	ε <sub>c</sub> (×10 <sup>-6</sup> )	E <sub>c</sub> (GPa)	조깅 인장강도 (MPa)
21	0	27.50	2265	21.27	1.81
	100	24.97	2084	20.89	1.89

표 5에 나타난 바와 같다.

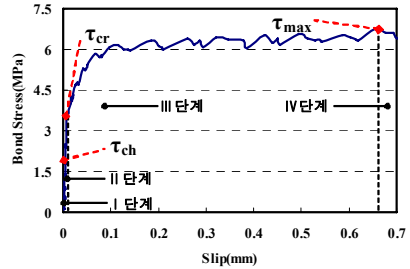
부착강도시험은 CSA S806-02<sup>3)</sup> 규준에 따라 실시하였다. 철근과 콘크리트 사이의 슬립량은 그림 2에 나타난 바와 같이 하중

표 5. 철근의 기계적 특성

철근직경	항복강도 (MPa)	인장강도 (MPa)	항복변형률 (×10 <sup>-3</sup> )	탄성계수 (GPa)
D16	454.7	736.7	2534.6	182.3

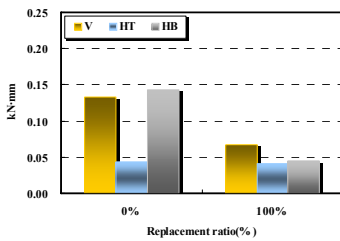


(a) 수직 및 수평 하부철근 시험체

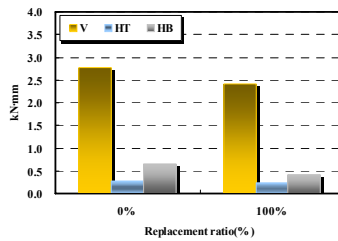


(b) 수평 상부철근 시험체

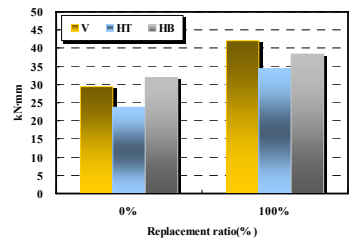
그림3. 순환굽은골재 콘크리트와 이형철근의 부착 거동



(a) I 단계



(b) II 단계



(c) III 단계

그림4. 단계에 따른 철근과 콘크리트의 부착에너지

점에서의 하중단 슬립은 2개의 LVDT를 가력방향하부에 설치하여 측정하였고, 자유단슬립은 실험체 상부에 돌출되어 있는 철근에 1개의 LVDT를 설치하여 측정하였다.

### 3. 시험 결과

#### 3.1 부착강도 특성 평가

그림 3은 수직 및 수평 하부철근 시험체의 인발시험을 통하여 얻어진 전형적인 부착응력-슬립 관계 곡선 상에 Tassios<sup>4)</sup>가 제안한 철근과 콘크리트의 4단계 부착 기구를 나타낸 것이다. 그림에 나타난 바와 같이 철근과 콘크리트의 화학적인 부착이 유지된 시점까지의 부착응력을 화학적 부착강도( $\tau_{ch}$ ), 철근과 콘크리트 사이의 점착력 상실한 이후 철근 리브에 의한 콘크리트의 지압응력이 콘크리트의 인장강도를 초과하여 리브마디 간격으로 미세한 사균열이 발생한 시점의 부착응력을 균열강도( $\tau_{cr}$ )라 정의하였다.

#### 3.2 철근과 콘크리트의 손상단계별 부착에너지 비교

그림 4는 그림 3에 나타난 철근과 콘크리트의 손상단계별 부착에너지를 나타낸 것이다. 철근과 콘크리트의 화학적인 점착력만 작용하는 I 단계에서 수직 시험체의 경우 순환굽은골재 치환율 0%, 100% 일 때 각각 0.132, 0.067kN·mm, 수평 상부철근 시험체의 경우 각각 0.044, 0.0415kN·mm, 수평 하부철근 시험체의 경우 각각 0.143, 0.045kN·mm의 값을 보였다. 화학적인 점착력을 상실한 이후에 철근리브(Rib)에 의한 기계적 부착력이 나타나는 II 단계에서 수직 시험체의 경우 순환굽은골재 치환율 0%, 100% 일 때 각각 2.773, 2.415kN·mm, 수평 상부철근 시험체의 경우 각각 0.280, 0.238kN·mm, 수평 하부철근 시험체의 경우 각각 0.649, 0.407kN·mm의 값을 보였다. 철근을 둘러싸고 있는 콘크리트와 철근의 맞물림 작용에 의하여 응력이 발생하게 되어 균열이 발생하기 시작하는 III 단계에서 수직

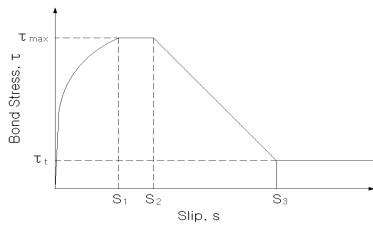


그림7. 부착응력-슬립 관계곡선(CEB-FIP, 1990)

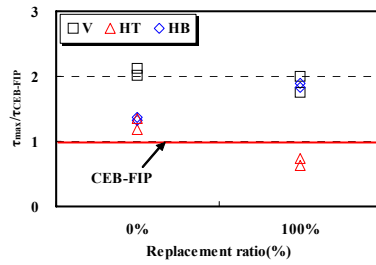


그림8. 표준식과의 비교

표6. 비구속 조건의 콘크리트와 이형철근의 부착응력에 대한 CEB-FIP 규정

Bond conditions	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>3</sub>	α	τ <sub>max</sub>	τ <sub>f</sub>	Remarks
good	0.6	0.6	1.0	0.4	2.0 √f <sub>cu</sub>	0.30 √f <sub>cu</sub>	S <sub>1</sub> = S <sub>2</sub>
poor	0.6	0.6	2.5	0.4	1.0 √f <sub>cu</sub>	0.15 √f <sub>cu</sub>	S <sub>1</sub> = S <sub>2</sub>

시험체의 경우 순환골은골재 치환율 0%, 100% 일 때 각각 29.462, 42.042kN·mm, 수평 상부철근 시험체의 경우 각각 23.762, 34.322kN·mm, 수평 하부철근 시험체의 경우 각각 31.884, 38.307·mm의 값을 보였다.

### 3.3 표준식과의 비교

CEB-FIP 표준식과 시험결과와 비교하여 나타내면 그림 8과 같다. 그림에 나타난 바와 같이 수평 상부철근 시험체와 수직 시험체의 강도는 큰 차이를 보이고 있으며 특히 순환골은골재 치환율 100%인 경우에는 0.63~0.74의 값을 보여 표준을 만족하지 못하는 것으로 나타났다.

## 4. 결 론

- 1) 순환골은골재 치환율과 무관하게 수직 시험체 및 수평 하부철근 시험체의 부착강도는 CEB-FIP 표준식을 상회하는 값을 나타내었다. 반면 순환골은골재 치환율 100%인 수평 상부철근 시험체의 경우 CEB-FIP 표준식을 만족하지 못하는 것으로 나타나, 이에 따른 심도 깊은 연구가 필요할 것으로 사료된다.
- 2) 수직 시험체 및 수평철근 시험체의 부착에너지를 비교한 결과 수평 상부철근 시험체의 경우 수직 및 수평 하부철근 시험체에 비하여 부착에너지가 약 8~90% 감소한 것으로 나타났다.

## 감사의 글

본 연구는 국토해양부 첨단도시개발사업의 연구비지원(05건설핵심D07)에 의해 수행되었으며 이 연구에 참여한 연구자(의 일부)는 『2단계 BK21 사업』의 지원비를 받았으며 이에 감사드립니다.

## 참고문헌

1. Comite Euro-International Du Betom, "CEB-FIP MODEL CODE 1990". Thomas Telford, 1990
2. KS F 2441 "철근의 부착에 의한 콘크리트 비교 시험 방법", 2005
3. CSA standard. "Design and Construction of Building Components with Fiber-Reinforced Polymers", Standard Association, 2002
4. Tassios T.P., "Properties of bond between concrete and steel under load cycles idealizing seismic actions", Proc. AICAP-CEB Symposium, Rome, CEB Bulletin No.131, pp.67-122, 1979.