

철근의 위치에 따른 이형철근과 순환굵은골재 콘크리트의 부착특성

Bond between Reinforcing Bars and Recycled Coarse Aggregate Concrete with respect to Reinforcement Location

윤현도* 이민정** 장용현** 배기선*** 유영찬**** 김금환****
Yun, Hyun Do Lee, Min Jung Jang, Yong Heon Bae, Kee Sun You, Young Chan Kim, Keung Hwan

ABSTRACT

This study investigated the bond behavior between recycled coarse aggregate (RCA) concrete and deformed reinforcing bars. The position (i.e., vertical, horizontal) and the location (i.e., 375mm, 225mm and 75 mm) of deformed bar were considered as a main test parameter in this paper. From the test results, it was found that maximum bond strength of top reinforcement was decreased compared with that of bottom reinforcement. Also bar embedded horizontally 225mm above from base could not satisfy bond strength requirement provided in CEB-FIP code. It was caused by the fact that bonded area at the bottom of horizontal reinforcement was significantly reduced by the poring water and laitance. In this specimen, the bond strength provided by bearing stress and wedging action of concrete was not fully observed.

요 약

본 연구에서는 철근의 배근방향(수직, 수평) 및 위치(상단근, 하단근)를 주요 실험변수로 하여 이형철근과 순환굵은골재와의 부착거동을 평가하기 위한 실험을 실시하였다. 본 연구를 통하여 얻어진 실험결과를 종합해 보면, 수평 시험체의 상부철근 시험체의 경우 하부철근 시험체 보다 부착강도가 저하되는 것으로 나타났으며, 밑면으로부터 225mm 위치에 배근된 수평 상단철근 시험체는 CEB-FIP 규준식을 만족하지 못하는 것으로 나타났다. 이는 굵은골재의 편중현상 및 콘크리트의 블리딩 등의 영향으로 인하여 상부철근의 하부에 다수의 공극이 발생되어 부착면적이 작아진 것에 기인하는 것으로 판단된다. 본 시험체에서는 콘크리트와 이형철근의 기계적 맞물림에 의한 지압력이 충분히 발휘되지 않은 것으로 관측되었다.

* 정회원, 충남대학교, 건축공학과, 교수
** 정회원, 충남대학교, 고기능 콘크리트 구조연구실, 석사과정
*** 정회원, 대한주택공사 주택도시연구원 수석연구원, 공학박사
**** 정회원, 한국건설기술연구원, 책임연구원

1. 서론

정부에서는 순환골재를 적극적으로 활용하기 위한 정책의 일환으로 「건설폐기물 등의 재활용 촉진에 관한 법률안」¹⁾을 제정하고, 「순환골재 품질기준」²⁾을 통하여 양질의 콘크리트용 순환골재 사용을 적극 유도하고 있다. 그러나 아직까지 순환골재 콘크리트의 구조체 적용은 미흡한 실정이다. 한편, 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-FIP에 의한 계산 값과 비교·분석함으로써 순환골재 콘크리트의 구조기준 작성에 관한 기초자료를 제공하고자 한다.

2. 시험

본 연구에서는 순환골재를 사용한 구조기준 정립을 위한 수행된 연구의 일환으로 철근과 콘크리트 부착을 평가하기 위하여 표 1과 같이 총 24개의 시험체를 계획하였다. 주요 실험변수는 순환골재의 치환율 및 철근의 배근방향 및 위치이며, KS F 2441, ASTM C234와 CSA S802-02 규격을 참고하여 그림 1에 나타난 바와 같이 3가지 형태의 직접인발 실험체를 제작하였다. 시험체에 매립된 철근은 D16으로 철근 공칭직경의 4배인 64mm가 콘크리트와 부착되도록 하였다.

실험체 제작에 사용된 순환골재 콘크리트는 국내 순환골재의 품질기준에서 구조부재에 적용 가능한 순환골재의 품질기준 하한치(흡수율 3.0%, 절건밀도 2.5g/cm³)를 만족하도록 표2의 고품질 순환골재와 재생골재를 2.5:1.0의 비율로 혼합하여 사용하였다. 콘크리트의 설계기준강도는 21MPa로 계획하였으며 실제 현장조건을 고려하여 레미콘 배합에 의해 콘크리트를 생산하였다. 콘크리트의 배합조건은 표 3에 나타난 바와 같고, 콘크리트의 역학적 특성은 표 4와 같다.

부착강도시험은 CSA S806-02 규준에 따라 실시하였다. 하중은 변위제어로 1.2mm/min의 속도로 1000kN 용량의 만능 재료시험기를 이용하여 가력하였다. 철근과 콘크리트 사이의 슬립량은 그림 2에

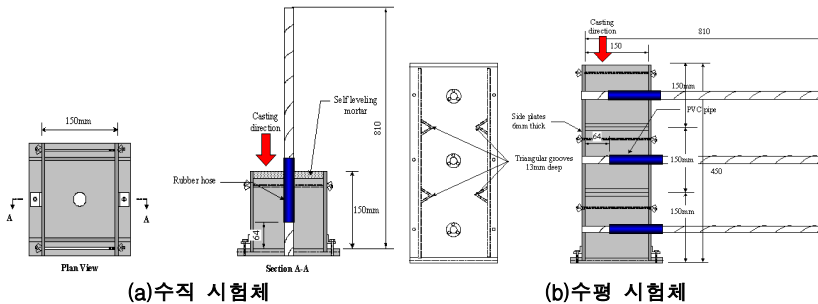
표1. 시험체 일람표

Type		수직 시험체	수평 시험체		
			HT	HM	HB
순환골재 치환율 (%)	A0	3	3	3	3
	A100	3	3	3	3

표2. 사용골재의 물리적 성질

구분	입경 (mm)	절건밀도 (g/cm ³)	흡수율 (%)	단위용적중량 (kg/ℓ)
천연골재	25	2.69	0.57	1.55
*혼합골재	25	2.49	3.00	1.51
순환골재	25	2.59	1.59	1.61
재생골재	25	2.28	6.28	1.30

*혼합골재=순환골재(2.5):재생골재(1.0)



(a) 수직 시험체

(b) 수평 시험체

그림1. 시험체의 종류(단위 : mm)

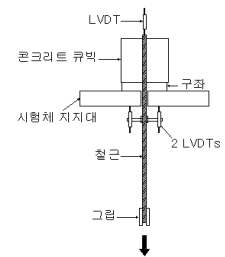


그림2. 시험체의 하중가력 및 측정장치

표3. 콘크리트 배합표

f _{ck} (MPa)	순환굵은골재 치환율 (%)	W/C (%)	S/a (%)	단위중량(kg/m ³)						
				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		

표4. 콘크리트의 기계적 성질

f _{ck} (MPa)	순환굵은골재 치환율 (%)	f _{cu} (MPa)	ε _c (×10 ⁻⁶)	E _c (GPa)	쪼갠 인장강도 (MPa)
21	0	27.50	2265	21.27	1.81
	100	24.97	2084	20.89	1.89

나타난 바와 같이 하중점에서의 하중단 슬립은 2개의 LVDT를 가력형강하부에 설치하여 측정하였고, 자유단 슬립은 실험체 상부에 돌출되어 있는 철근에 1개의 LVDT를 설치하여 측정하였다.

3. 시험 결과

본 연구에서는 철근과 콘크리트의 화학적인 부착이 유지된 시점까지의 부착응력을 화학적 부착강도(τ_{ch})라 정의하였으며, 이를 순환굵은골재 치환율에 따라 그림 3에 나타내었다. 화학적 부착강도는 이형철근과 모르타르의 부착정도에 의해 영향 받는 것으로 상부철근 시험체의 화학적 부착강도가 하부철근 시험체에 비하여 약 34.6~96.1% 감소하였다. 이는 굵은골재의 편중현상이 발생됨에 따라 콘크리트 입방체 내부의 기포가 상승할 때 상부철근을 통과하지 못하고 철근과의 부착면에 기공을 형성하여 화학적 부착강도가 하부철근 시험체에 비하여 낮게 나타난 것으로 판단된다.

철근과 콘크리트 사이의 점착력 상실한 이후 철근 리브에 의한 콘크리트의 지압응력이 콘크리트의 인장강도를 초과하여 리브마디 간격으로 미세한 사균열이 발생한 시점의 부착응력을 균열강도(τ_{cr})라 정의하고 이를 순환굵은골재 치환율에 따라 나타내면 그림 4와 같다. 이때의 부착응력은 자유단 슬립에서 측정된 변위가 0.03mm에 도달하였을 때를 ε_c=0.0005 인 것으로 가정하여 추산하였다. 균열강도는 그림에 나타난 바와 같이 상부철근 시험체와 중간철근 시험체의 균열강도가 약 1.31~1.04MPa의 차이로 유사하게 나타났으나 하부철근 시험체와 중간철근 시험체의 균열강도가 약 4.12~2.31MPa의 차이를 보여 차이가 현저한 것으로 나타났다.

그림 5는 각 시험체의 최대 부착응력(τ_{max})을 순환굵은골재 치환율에 따라 나타낸 것으로 상부철근 시험체와 하부철근 시험체의 강도는 큰 차이를 보이고 있으며 이는 전술한 바와 같이 골재침하로 인한 굵은골재의 하부편중이 발생됨에 따라 상부철근에서는 콘크리트의 구속효과 감소 및 상부철근 하부에서 부유물(Laitance) 발생에 따른 것으로 판단된다. 즉 상부 철근 시험체의 경우 수직 시험체 및 하부철근 시험체에 비하여 부착강도를 확보하기 어려운 것으로 판단된다.

CEB-FIP Model code³⁾(이하 CEB-FIP)에서는 천연골재를 사용한 콘크리트의 구속응력 및 부착조건에 따른 최대 부착응력을 콘크리트의 압축강도에 대하여 표 6 및 그림 6과 같이 정의하고 있다. 또한 기존연구의 시험결과⁴⁾를 포함하여 본 연구를 통하여 얻어진 순환골재콘크리트의 부착강도를 콘크리트 압축강도와 비교하여 분석하면 그림 7과 같다. 그림에서 보는 바와 같이 본 연구의 수직 시험체 및 수

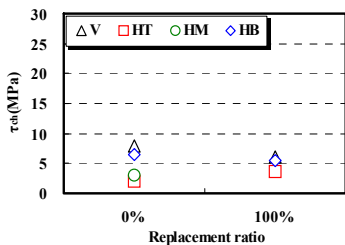


그림3. 화학적 부착강도(τ_{ch})

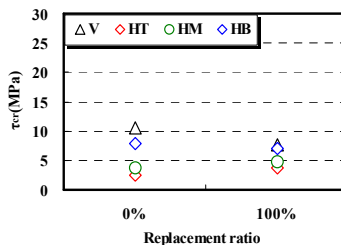


그림4. 균열강도(τ_{cr})

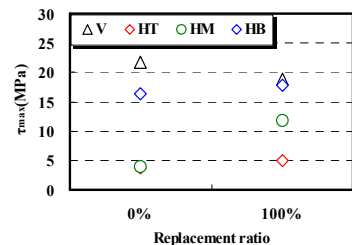


그림5. 최대강도(τ_{max})

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

Bond condition S	S ₁	S ₂	S ₃	α	τ _{max}	τ _f	Remark S
good	0.6	0.6	1.0	0.4	2.0 √f _{cu}	0.30 √f _{cu}	S ₁ = S ₂
poor	0.6	0.6	2.5	0.4	1.0 √f _{cu}	0.15 √f _{cu}	S ₁ = S ₂

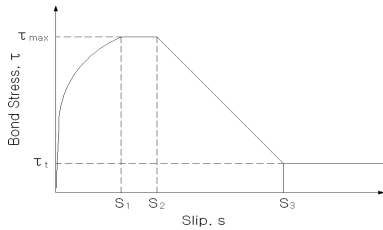


그림6. 부착응력-슬립 관계곡선(CEB-FIP, 1990)

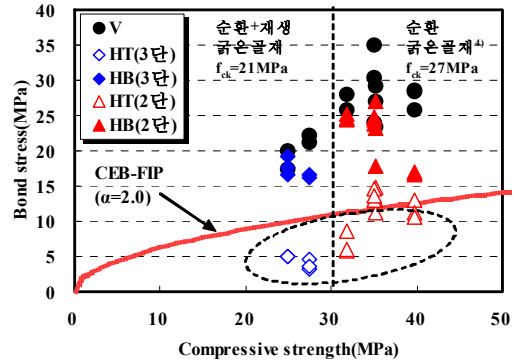


그림7. 콘크리트 압축강도에 따른 부차강도

평 시험체의 하부철근 시리즈의 경우 기존 시험결과⁴⁾와 함께 CEB-FIP 규정식에서 제안하고 있는 부차강도를 상회하고 있는 것을 알 수 있다. 그러나, 수평 상당근 실험체는 대부분의 경우, CEB-FIP 규정식의 좋은 조건의 부차강도 요구사항을 만족하지 못하는 것으로 나타나, 이에 따른 심도 깊은 검토가 필요할 것으로 사료된다.

4. 결 론

- 1) 순환곱은골재를 사용한 콘크리트와 이형철근과의 부착특성은 철근배근 방향 및 위치에 따라 크게 영향을 받는 것으로 나타났다.
- 2) 순환곱은골재 치환율과 무관하게 수직배근 시험체 및 수평 하단배근 시험체의 부차강도는 CEB-FIP 규정식을 상회하는 값을 나타내어 적용이 가능할 것으로 판단된다. 이에 대하여 수평 상부철근 시험체의 경우는 CEB-FIP 규정식을 만족하지 못하는 것으로 나타나, 이에 따른 심도 깊은 검토가 필요할 것으로 사료된다.
- 3) 수평 상부철근 시험체에서 관측되는 부차강도 저하는 순환곱은골재의 침하로 인한 곱은골재의 하부편중과 상부철근을 통과하지 못한 기포의 영향에 기인하는 것으로 판단되어진다.

감사의 글

본 연구는 건설교통부가 출원하고 한국건설교통기술평가원에서 위탁시행한 2005 건설핵심기술연구개발사업 05건설핵심D07 “건설폐기물 재활용 기술 개발”의 지원비로 수행된 연구의 일부이고, 이 연구에 참여한 연구자(의 일부)는 『2단계 BK21 사업』의 지원비를 받았으며 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. “건설폐기물의 재활용 촉진에 관한 법률”, 2003
2. 순환골재 품질기준(2005), 건설교통부
3. Comité Euro-International Du Béton, “CEB-FIP MODEL CODE 1990”. Thomas Telford, 1990
4. 전수만, 윤현도, 최기선, 유영찬, 김궁환 “순환골재 콘크리트와 이형철근의 부착특성”, 콘크리트학회 논문집 게재예정(2008년 4월)