

순환골재를 사용한 콘크리트의 구조적 특성

Structural Behavior of Recycled Aggregate Concrete

글 | 유영찬* / 한국건설기술연구원 건축도시연구본부 건축구조자원연구실 책임연구원

최기선 / 한국건설기술연구원 건축도시연구본부 건축구조자원연구실 선임연구원

(You, Young-Chan / Building Structure & Resources Research Division, KICT, Go-Yang, Korea

Choi, Ki-Sun / Building Structure & Resources Research Division, KICT, Go-Yang, Korea

1. 서언

순환골재는 기존의 등급별로 구분된 재생골재 규격에서 국토해양부장관이 정한 품질기준을 만족하는 골재로 차별화하여 정의하고 있다. 즉, 고품질의 순환골재를 기존의 재생골재와 구별하고 이를 적극적으로 활용하기 위한 근거를 마련하기 위하여 2003년 「건설폐기물의 재활용 촉진에 관한 법률」이 제정되었으며, 동 법률 제35조의 규정에 근거하여 2005년 순환골재 품질기준¹⁾이 제정·공고되었다. 또한 2006년 KS F 2573 「콘크리트용 순환골재」²⁾ 및 KS F 4009 「레디믹스트 콘크리트」³⁾ 규격의 제정과 2007년 개정된 「콘크리트구조설계기준」⁴⁾에 콘크리트용 순환골재가 포함됨으로써 구조물 적용에 대한 제도적 근거를 모두 마련하게 되었다. 아울러 2007년 순환골재 품질인증 제도의 시행으로 지속적인 품질관리가 가능해졌다. 이러한 정책적 지원과 산업계의 품질개선 노력 및 학계의 다양한 연구활동에 힘입어 순환골재에 대한 신뢰가 향상됨으로써 국내에서의 순환골재 생산 및 적용현황이 점차 확대되고 있다.

현행 순환골재 품질기준에서는 순환골재의 용도에 따라서 도로 기층용, 도로 보조기층용, 콘크리트용, 콘크리트 제품제조용, 하수관거 설치용 모래대체 잔골재, 아스팔트 콘크리트용, 동상방지층 및 차단층용, 노상용, 노체용, 댐메우기 및 뒷채움용, 성토용, 복토용, 매립시설의 복토용으로 총 13종의 순환골재에 대하여 각각의 품질기준 및 적용범위를 규정하고 있다.

기존에는 재생된 골재에 대한 부정적 인식과 관련규정의 미흡으로 인하여 주로 순환골재가 성토, 복토용 등 단순 용도로 사용되어 왔으나, 현재는 정부, 업계, 학계의 꾸준한 노력으로 고도 처리된 고부가가치의 순환골재를 생산·적용하고 있다.

한편 콘크리트용 순환골재 중에서 순환굵은골재는 최근 국내 제조사의 생산설비 및 제조기술의 향상으로 고품질의 콘크리트용 순환굵은골재의 생산이 가능해졌으며, 품질의 안정화도 상당히 이루어진 상태이다. 반면, 순환잔골재는 제조사별 시험생산에 의해 순환잔골재를 생산하기는 하지만 아직까지 국내 제조방식 및 생산기술이 현행 기준을 만족하는 순환잔골재를 안정적으로 생산하기 미흡한 실정이며, 최근에는 비로소 순환골재 품질기준을 만족하는 잔골재가 생산되고 있는 실정이다. 따라서 기존연구의 대부분이 엄격히 말하면 현행 순환골재 품질기준을 만족하지 못하는 재생골재를 대상으로 하고 있으며, 연구자료도 충분히 축적되어 있지 못한 상황이다. 특히 Lab test의 특성상 엄격한 품질관리 조건과 소량배합에 의해 제작된 순환골재 콘크리트로 평가된 연구결과는 현장에서의 골재관리, 배합조건, 타설, 양생조건 등의 전반적인 현장조건을 반영하고 있지 못하다. 또한 현장에서의 골재 및 콘크리트의 품질관리 사례가 많지 않은 현 수준을 고려하여 순환골재 품질기준에서는 순환골재 치환율을 30%이하로 권장하고 있다.

본 논고에서는 이러한 분석을 근거로 현장 제작조건과 동일한 대량 레미콘 제조와 운반 및 타설, 양생을 실시한 순환골재 콘크리트의 재료, 부착, 실물모형의 구조 성능에 대한 실험결과를 중심으로 순환골재 콘크리트의 구조적 특성을 분석하고, 이러한 실증적 연구결과를 통하여 현행

* E-mail : ycyou@kict.re.kr

순환골재 품질기준 및 구조설계기준을 제고함으로써 순환골재에 대한 인식의 제고와 활용 촉진 및 적용확대를 위한 기술적 근거를 제시하고자 한다.

2. 콘크리트용 순환골재

2.1 순환골재

순환골재는 해체 콘크리트 덩어리로부터 파쇄, 마쇄공정을 거쳐 생산되며, 콘크리트용과 같이 고품질의 순환골재를 생산하기 위해서는 수차례의 파쇄, 마쇄, 스크린 작업을 거치거나, 특수한 기계설비를 이용한 고도처리를 실시하여 생산한다.

순환골재의 물리적 성질은 [그림 1]에서 나타난 바와 같이 원골재 표면에 부착된 모르타르나 페이스트에 의해 영향을 받는다. 원골재에 부착된 모르타르는 골재의 밀도, 흡수율을 변화시키며, 제조되는 콘크리트의 용적 및 단위수량에 영향을 주기 때문에 생산되는 콘크리트의 물성이 변화한다. 따라서 이러한 부착모르타르의 처리 정도에 따라서 순환골재의 품질이 결정되며, 순환골재는 일정 품질 이상을 확보할 수 있도록 품질기준의 허용치를 규정하고 있다.



[그림 1] 순환골재 형상

2.2 콘크리트용 순환골재 품질기준

2005년 제정·공고된 순환골재 품질기준에서는 콘크리트 용으로 사용할 수 있는 순환굵은골재 및 순환잔골재의 품질을 <표 1>과 같이 규정하고 있다. 또한 현행 품질기준에서는 콘크리트용 순환골재의 강도 및 적용범위를 제한하고 있다. <표 2>에 나타난 바와 같이 순환굵은골재는 27MPa이하의 구조용으로 사용할 수 있으나 순환잔골재는 21MPa 미만의 비구조용에서만 사용하도록 규정하고 있다.

<표 1> 콘크리트용 순환골재 품질기준

항목	순환 굵은골재	순환 잔골재
절대 건조 밀도(g/cm ³)	2.5 이상	2.2 이상
흡수율(%)	3.0 이하	5.0 이하
마모감량(%)	40 이하	-
입자모양판정실적률(%)	55 이상	53 이상
0.08mm체 통과량 시험에서 손실된 양(%)	1.0 이하	7.0 이하
알칼리 골재 반응	무해할 것	
점토덩어리량(%)	0.2 이하	1.0 이하
안정성(%)	12 이하	10
이물질 함유량 (%)	유기이물질	1.0 이하 (용적)
	무기이물질	1.0 이하 (질량)

<표 2> 콘크리트용 순환골재 사용방법 및 적용가능 부위

설계기 준강도 (MPa)	사용골재		적용 가능 부위
	굵은골재	잔골재	
21 이상 27 이하		천연 잔골재	기둥, 보, 슬래브, 내력벽, 교량하부공, 옹벽, 교각, 교대, 터널 라이닝공 등
21 미만	천연굵은 골재 및 순환 굵은골재	천연 잔골재 및 순환 잔골재	콘크리트 블록, 도로 구조물 기초, 측구, 집수받이 기초, 중력식 옹벽, 중력식 교대, 막콘크리트, 강도가 요구되지 않는 채움재 콘크리트, 건축물의 비구조재 콘크리트 등

3. 국내·외 기술개발 현황

3.1 국내 현황

국내에서 순환골재를 사용한 콘크리트의 특성에 관한 연구는 현행 순환골재 품질기준을 만족하는 골재가 생산된 최근여야 이루어졌으며, 엄밀히 말해 기존 연구의 대부분은 재생골재를 이용한 연구가 주로 이루어졌다. <표 3>에 나타난 바와 같이 순환골재 인증제도가 2007년 시행된 이후 콘크리트용 순환골재로 인증을 받은 제품은 순환굵은골재 4곳, 순환잔골재 9곳으로 최근 1~2년 내에 생산이 가능해졌다.

<표 3> 국내의 콘크리트용 순환골재 인증제품

제조사	인증년도	절건밀도 (g/cm ³)	흡수율 (%)
순환 굵은골재	기준치	-	2.5 이상 3.0 이하
	1	2007	2.57 1.71
	2	2008	2.51 2.67
	3	2008	2.53 2.30
	4	2009	2.54 2.03
순환 잔골재	기준치	-	2.2 이상 5.0 이하
	1	2008	2.27 4.80
	2	2008	2.41 3.84
	3	2008	2.29 4.79
	4	2009	2.52 4.83
	5	2009	2.29 4.67
	6	2009	2.31 4.23
	7	2009	2.39 4.06
	8	2009	2.36 4.90
9	2009	2.29 4.82	

한편, 재생골재를 사용한 연구는 1983년 시작하여 현재 까지 주로 재료적인 특성 및 골재 생산시스템에 중점을 둔 연구가 집중적으로 진행되어져 왔다. 즉, 재생 및 순환 골재 콘크리트에 관한 기존 연구의 대부분은 재료역학적 특성에 집중되어 있으며, 구조부재의 역학적 성능에 대한 연구로는 보의 휨 및 전단성능에 대한 기초적인 거동 특성 연구에 국한되어 있는 실정이다. 특히 재생 및 순환골재 콘크리트의 부착 및 정착 성능, 장기거동 등에 관한 연구는 미흡한 실정으로 콘크리트 구조체로의 적용에 활성화되지는 못한 실정이다. 순환골재 콘크리트를 사용한 부재의 구조성능에 대한 연구는 1999년 시작되어 매년 1~2편 정도의 연구결과가 발표되고 있는 실정으로 그 연구성과는 미미한 실정이다. 이는 현재까지 순환골재의 적용 범위가 주로 도로 노반재 및 비구조체에 활용하는 정도로 국한하였기 때문이라 할 수 있다.

3.2 국외 현황

재생골재에 대한 연구는 일본을 중심으로 활발하게 진행되어 왔다. 1974년 건축업협회가 폐콘크리트의 처리 및 재이용에 관한 연구를 시작으로 1978년 “재생골재 및 재생콘크리트의 사용 기준(안) 및 동해설”이 발표되면서 실용화 단계에 이르렀다. 1991년 “재생자원 이용의 추진에 관한 법률”이 시행되어 건설 부산물 중 폐콘크리트 등의

재활용이 활발히 추진되고 있다. 특히, 최근에는 환경보존 및 자원의 유효이용 측면에서 재생콘크리트 활용에 대한 연구가 더욱 활발히 이루어지고 있으며, 재생골재 콘크리트를 철근콘크리트 보, 합성기둥 그리고 half PC 골조 등의 주요 구조재료로 적용된 구조부재에 대한 실험 및 이론적 연구가 활발히 진행되고 있다. 이러한 연구를 바탕으로 일본에서는 재생골재의 품질별 등급(H Class, M Class, L Class)을 규정하고, 각 등급별 구조부재의 적용범위 및 구조설계시의 고려사항 등을 제안하고 있다.

JIS A 5021 「콘크리트용 재생 골재 H」는 국내 순환골재 품질기준의 콘크리트용 순환골재 및 KS F 2573 콘크리트용 순환골재에 해당한다. JIS A 5021에서 규정하는 H Class 재생골재는 JIS A 5308 「레디믹스트 콘크리트」에 포함되어 있으며, 콘크리트 구조물의 주요 구조부분에서 천연 하천자갈, 모래, 콘크리트용 쇄석 및 쇄사와 동등하게 사용할 수 있도록 하고 있다. 따라서 JIS A 5308에서 지정하는 강도 및 적용범위에 모두 사용할 수 있다.

4. 순환골재 콘크리트의 구조적 특성

본 논고에서는 순환굵은골재 및 순환잔골재를 혼합사용하여 레미콘 배합에 의해 생산한 설계압축강도 30MPa의 콘크리트에 대한 재료 및 구조역학적 특성을 소개한다.

4.1 순환골재 콘크리트 재료성능


순환골재의 품질은 흡수율 1.84%, 절건밀도 2.51g/cm³의 순환굵은골재와 흡수율 4.43%, 절건밀도 2.35g/cm³의 순환잔골재를 사용하였다. 레미콘에 사용된 각 골재의 물리적 특성치는 <표 4>와 같으며 골재의 입형 및 형상은 <그림 2>와 같다.

<표 4> 골재의 특성

구분	입경 (mm)	절건밀도 (g/cm ³)	흡수율 (%)	조립율
천연굵은골재	25	2.68	0.59	6.66
순환굵은골재	25	2.51	1.84	5.40
천연잔골재	5	2.46	2.70	2.53
순환잔골재	5	2.35	4.43	2.99



[그림 2] 천연 및 순환 골재 형상

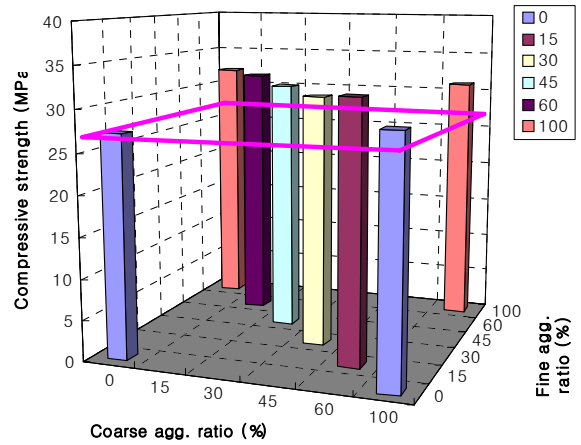
순환굵은/잔골재를 혼합사용한 콘크리트의 치환율에 따른 역학적 성능은 순환굵은골재 및 순환잔골재의 치환율을 0, 15, 30, 45, 60, 100% 6단계로 나누고 이를 적절히 구성하여 <표 5>와 같이 총 8개의 혼합골재 조합을 설정하였다. <표 5>에서 점선으로 표시된 구간이내가 현재 순환골재 품질기준에서 제시하고 있는 설계압축강도 21MPa 미만의 비구조용으로 사용할 수 있는 순환골재 치환율 조합을 나타낸 것이다. 또한 「」로 표시된 구간은 27MPa 이하의 구조용으로 사용할 수 있는 순환골재의 범위를 나타낸 것이다.

<표 5> 순환골재 치환율

		순환굵은골재 치환율(%)					
		0	15	30	45	60	100
Coarse agg. ratio (%)	0	●					●
	15					●	
	30				●		
	45			●			
	60		●				
	100	●					●

4.1.1 순환골재 콘크리트의 압축강도

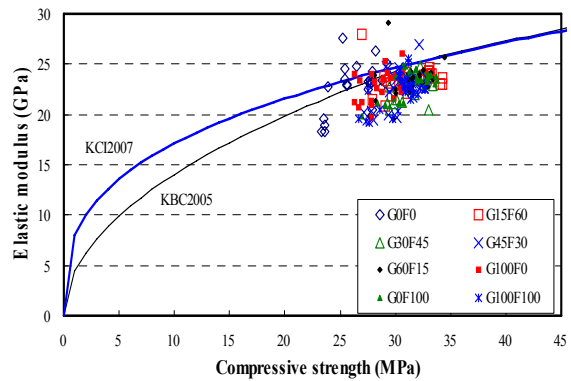
4가지 서로 다른 특성의 천연굵은/잔골재, 순환굵은/잔골재를 조합하여 실험을 수행하였다. 각 실험체의 28일 재령의 콘크리트 압축강도를 측정된 결과는 [그림 3]에 나타난 바와 같이 천연골재 콘크리트에 비하여 순환골재 콘크리트의 압축강도 저하는 나타나지 않았다.



[그림 3] 순환골재 치환율에 따른 콘크리트 압축강도

4.1.2 순환골재 콘크리트의 탄성계수

순환골재 콘크리트의 탄성계수는 순환골재 치환율에 관계없이 천연골재 콘크리트와 동등한 수준을 확보하고 있는 것으로 나타났다. 한편 [그림 4]에서 나타난 바와 같이 천연골재 콘크리트 및 순환골재 콘크리트 모두 현행 기준식에서 제시하는 압축강도-탄성계수 관계에 비하여 전반적으로 감소하는 경향을 보이고 있다. 이러한 원인은 현행 기준식의 근간이 되는 과거 해외에서 수행된 실험자료와 현재 국내에서 사용되는 콘크리트와의 물성 차이로 판단된다. 따라서 국내 레미콘을 대상으로 포괄적인 연구를 통하여 검증할 필요성이 있다.



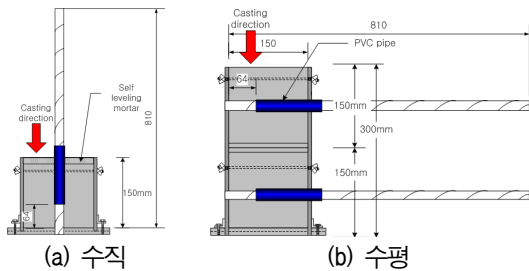
[그림 4] 순환골재 치환율에 따른 콘크리트 탄성계수

4.2 순환골재 콘크리트의 부착성능

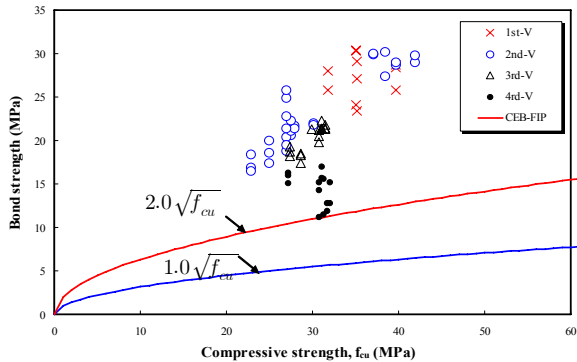
순환골재 콘크리트와 철근의 부착성능을 평가하기 위하여 [그림 5]와 같이 수직 및 수평철근에 대한 직접인발시

험을 수행하였다.

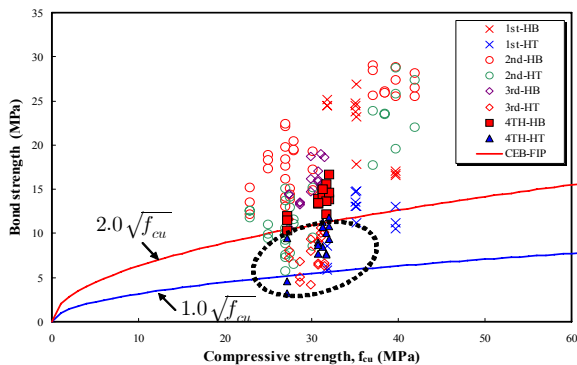
콘크리트와 이형철근의 부착강도는 순환골재 치환율에 관계없이 천연골재 콘크리트와 동등한 부착성을 확보하고 있는 것으로 나타났다. 한편 수직 배근된 철근의 부착강도는 현행 CEB-FIP에서 제시하고 있는 이형철근의 부착강도 규정을 모두 상회하는 것으로 나타났다. 반면 수평 배근된 철근의 부착강도는 배근위치에 따라 상이하게 나타난다. 즉, 수평 상단철근은 경화되기 전 콘크리트의 블리딩에 의해 철근 하부에 기포가 응집되며 이로 인하여 부착강도가 저하되는 것으로 나타났다.



[그림 5] 부착성능 실험체



[그림 6] 순환골재 치환율에 따른 부착성능(수직)



[그림 7] 순환골재 치환율에 따른 부착성능(수평)

[그림 8]은 부착실험종료 후 철근위치에서 콘크리트를 절단하여 상단철근 하부 경계면을 나타낸 것이다. 정상적으로 철근과 콘크리트의 부착된 철근의 파괴형태는 철근 리브 전면의 지압파괴(crushing)와 pull-out에 의한 철근 마다사이의 콘크리트 파괴(shearing-off)가 발생되지만 상단철근 하부 경계면은 블리딩에 의해 다수의 기포가 발생하고 하부 표면적의 상당부분이 비부착되므로 부착강도가 저하된다.

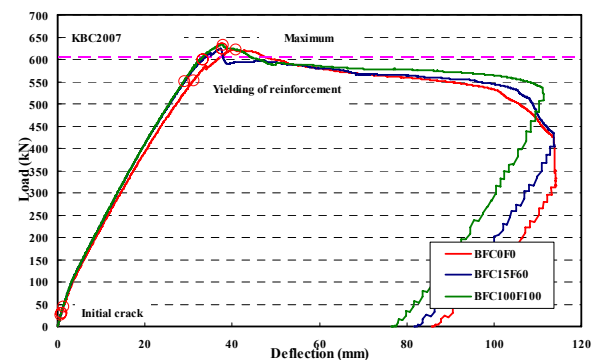


[그림 8] 2단수평 부착실험체 상단철근 하부 부착면

4.3 순환골재 콘크리트의 구조성능

4.3.1 실물모형 순환골재 콘크리트 보의 휨 성능

순환골재 콘크리트 및 순환골재 콘크리트를 사용한 휨부재의 휨강도 및 단기 사용성 평가를 위하여 사용골재의 종류별로 압축연단 콘크리트 변형률이 0.003 도달시 최하단 인장철근의 순인장변형률이 0.005에 도달하도록 인장철근을 배근하였다. 휨강도 평가를 위한 실물모형 실험체는 천연골재를 사용한 실험체와 순환골재 치환율 15%, 순환골재 치환율 60%인 실험체, 순환골재만을 사용한 실험체를 대상으로 하였다.



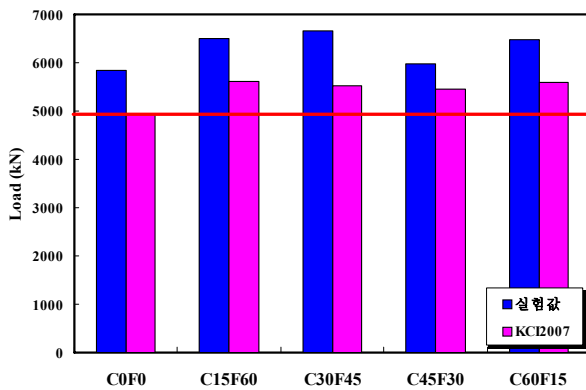
[그림 9] 순환골재 콘크리트의 휨 성능

순환골은골재 및 순환잔골재 치환율에 따른 철근콘크리트 보의 균열발생 및 최종과괴양상은 천연골재 콘크리트와 차이를 보이지 않았다. 또한 [그림 9]에 나타난 바와 같이 실물모형 휨 실험체는 순환골재 치환율에 관계없이 동등한 초기균열하중, 항복하중 및 최대내력을 확보하고 있으며, 현행 설계기준에서 제시하는 휨내력을 모두 상회하고 있는 것으로 나타났다.

4.3.2 실물모형 순환골재 콘크리트 기둥의 압축 성능

순환골은골재 및 순환잔골재를 혼합사용한 순환골재콘크리트 기둥의 중심축력 거동을 가장 불리한 조건으로 검토하기 위하여 KBC2005에서 규정하는 횡보강근의 최소철근비로 배근된 실물모형 기둥을 대상으로 순환골재 치환율을 변수로 구조실험을 실시하였다. 중심축력을 받는 기둥은 콘크리트 압축강도의 영향이 지배적이므로 순환골재 치환율 총 5가지에 대하여 검토하였다.

[그림 10]에서 실험값은 콘크리트의 공칭강도에 의해 계산된 값과 재료강도에 의해 계산된 값과 비교되었다. 실물모형 기둥의 압축성능은 콘크리트 재료강도에 비례하며, 순환골재 콘크리트는 천연골재 콘크리트와 동등한 성능을 확보하고 있다. 또한 현행 구조설계기준에서 제시하고 있는 최대내력을 만족하는 것으로 나타났다.



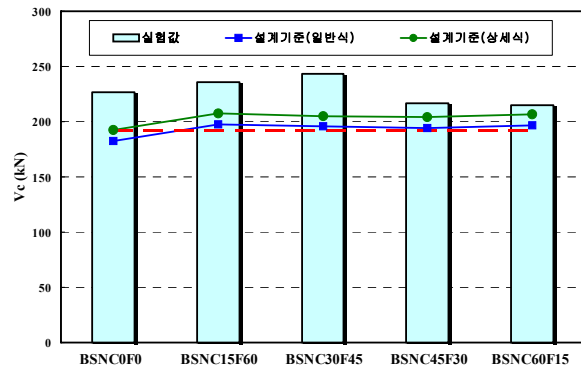
[그림 10] 순환골재 콘크리트의 압축 성능

4.3.3 실물모형 순환골재 콘크리트의 전단성능

순환골은골재 및 순환잔골재를 사용한 콘크리트 부재의 전단거동을 가장 불리한 조건으로 검토하기 위하여 전단보강근이 없는 부재를 대상으로 beam action을 받도록 $a/d=5$ 가 되도록 실물모형 실험체를 제작하였으며, 순환골은골재와 순환잔골재의 치환율을 변수로 구조실험을 실시하였다.

[그림 11]에서 나타난 바와 같이 순환골은골재의 치환

율이 45% 이상일 때 전단내력이 다소 저하되는 경향을 보이고 있지만, 순환골재 치환율에 관계없이 모든 실험체는 현행 설계기준치를 상회하는 전단내력을 확보하고 있는 것으로 나타났다.



[그림 11] 순환골재 콘크리트의 전단 성능

5. 결론

천연골재 콘크리트와 비교하여 순환골재 콘크리트에서 발생하는 성능저하 현상은 순환골재 표면에 부착되어 있는 모르타르에 근본적인 원인이 있다. 따라서, 순환골재 콘크리트의 성능개선 및 활용증대를 위해서는 ① 골재표면의 모르타르를 완전히 제거하는 기술, ② 모르타르 양을 정량적으로 측정하는 기술 및 ③ 순환골재 모르타르 부착량이 콘크리트의 제반 성질에 미치는 영향에 대한 규명을 통하여 순환골재 콘크리트의 품질과 성능을 평가할 수 있는 시스템을 구축하는 것이 필요하다.

현재까지 국내에서 수행된 순환골재에 관한 기존연구는 ① 양질의 순환골재 생산기술(파쇄, 선별, 분리) ② 순환골재를 사용한 콘크리트의 품질성능 규명 및 성능개선 ③ 순환골재 콘크리트의 품질기준 정립 등의 3분류로 집중되고 있다. 재료성능 측면에서 나타나는 순환골재 콘크리트의 성능저하 현상은 철근으로 보강된 구조부재에서 그 영향이 감소될 수 있으며, 이에 대한 폭 넓은 검증실험이 필요함에도 불구하고 순환골재 콘크리트를 사용한 구조부재의 역학적 거동을 분석하기 위한 실험연구 분야는 상대적으로 미흡한 실정이다.

본 논고에서는 순환골재 콘크리트를 사용한 구조부재에서 발생 가능한 성능저하 현상을 규명하기 위하여 실제 현장조건과 동일하게 제작된 실물모형 구조실험결과를 기반으로 현행 기준식과 비교·검토를 수행함으로써 순환골재 콘크리트의 구조재로서의 적합성을 평가하였다.

현행 순환골재 품질기준을 만족하는 순환굵은골재 및 순환잔골재를 혼합사용한 콘크리트의 압축강도, 탄성계수, 부착성능 및 휨, 압축, 전단의 구조성능은 전반적으로 천연골재 콘크리트와 동등한 성능을 확보하고 있는 것으로 나타났다. 특히, 현행 기준에서 비구조용으로 제한하고 있는 순환잔골재를 사용한 콘크리트에서도 역학적 특성의 현저한 저하가 관측되지 않는 것으로 나타나 향후 순환잔골재의 적용확대를 위한 기초자료가 될 수 있을 것으로 판단된다.

참고문헌

1. 건설교통부, 순환골재 품질기준, 2005
2. KS F 2573, 콘크리트용 순환골재, 한국표준협회, 2006
3. KS F 4009, 레디믹스트 콘크리트, 한국표준협회, 2006
4. 한국콘크리트학회, 콘크리트구조설계기준 해설, 한국콘크리트학회, pp.36, 2007
5. 전수만 등, “순환골재 콘크리트와 이형철근의 부착특성”, 한국콘크리트학회논문집, 제20권 2호, pp.165~174, 2008
6. 이원석 등, “순환굵은골재 치환율에 따른 전단보강되지 않은 철근콘크리트 보의 전단강도 특성”, 대한건축학회논문집, 제23권 10호, pp.3~10, 2007
7. 전에스터 등, “순환굵은골재를 사용한 레디믹스트 콘크리트의 역학적 특성”, 대한건축학회논문집, 제25권 8호, pp.103~110, 2009
8. 김윤수 등, “중심축력을 받는 순환굵은골재 콘크리트 기둥의 압축거동 특성”, 대한건축학회논문집, 제24권 4호, pp.75~82, 2008
9. 이민정 등, “철근의 위치에 따른 이형철근과 순환굵은골재 콘크리트의 부착거동”, 대한건축학회논문집, 제24권 8호, pp.29~39, 2008
10. 장광수 등, “순환굵은골재를 사용한 철근콘크리트 기둥의 압축거동 특성”, 한국콘크리트학회논문집, 제21권 4호, pp.227~234, 2009
11. 최기선 등, “순환굵은/잔골재를 사용한 굳지 않은 콘크리트의 특성”, 한국자원리사이클링학회지, 제18권 3호, pp.20~26, 2009
12. 송선화 등, “순환골재를 사용한 철근콘크리트 보의 휨거동 특성”, 한국콘크리트학회논문집, 제21권 4호, pp.431~439, 2009
13. 최기선 등, “순환잔골재를 사용한 굳지 않은 콘크리트의 특성”, 한국콘크리트학회기술발표논문집, 제20권 2호, pp.373~376, 2008
14. 정지용 등, “재생골재 입형이 재생골재 콘크리트의 압축강도와 슬럼프에 미치는 영향”, 한국콘크리트학회기술발표논문집, 제18권 1호, pp.97~100, 2006
15. CEB-FIP, “Textbook on Behavior, Design and Performance Updated Knowledge of the CEB/FIP Model Code 1990”, Volume 1, bulletin, 1990
16. CEB-FIP, “Comite Euro-International Du Beton, CEB-FIP Model Code 1990”, 1990
17. CSA standard, S806-02, “Design and construction of Building Components with Fiber-Reinforced Polymers”, Standard Association, 2002
18. Jianzhuang Xiao, Jiabin Li, Ch, Zhang, “Mechanical properties of recycled aggregate concrete under uniaxial loading” Cement and concrete research pp. 1187~1194, 2004
19. Han B.C, Yun H.D, Chung S.Y, “Shear strength of reinforced concrete beams containing recycled aggregate”, Proceedings of the 5th Korean/Japan Joint Symposium on Building Materials & Construction, Vol.5, No.1, pp.63~71