

순환굵은골재 치환율에 따른 콘크리트의 역학적 특성

The Effect of Recycled Coarse Aggregate Replacement Level on the Mechanical Properties of Concrete

전에스더* 윤현도** 유영찬*** 이세현*** 심종우**** 김금환****
Jeon, Esther Yun, Hyun-Do You, Young-Chan Lee, Sea-Hyun Shim, Jong-Woo Kim, Keung-Hwan

ABSTRACT

This experimental study is to evaluate the effects of recycled coarse aggregate replacement level on the mechanical properties of concrete produced at Batcher plant. The main test parameter was replacement level of recycled coarse aggregate with the ratio of 0, 30, 60 and 100% to the natural coarse aggregate.

From the test results, it was found that compressive strength, elastic modulus and splitting strength are decreased with the increased proportion of replacement level. Therefore, some design coefficients or recommendations for elastic modulus and splitting strength of concrete need to be reconsidered with minor reduction factor of '0.85'

1. 서 론

최근 정부에서는 건설폐기물에 의한 환경오염 및 매립지 부족 등의 문제점을 해결하고 순환골재를 천연골재의 대체재로 활용하기 위한 방안으로 「건설폐기물 등의 재활용 촉진에 관한 법률」¹⁾을 제정하여 일정규모 이상의 공사에 순환골재의 사용을 의무화하였다. 순환골재 콘크리트의 재료강도 특성치에 대한 기존의 연구결과에 의하면^{2,3)}, 천연골재에 대한 순환골재의 치환율이 약 50% 미만일 경우에 압축강도 등의 강도특성치에 대한 성능저하가 관측되지 않는 것으로 보고되고 있으며, 순환골재의 치환율이 30% 범위에서는 물-시멘트비의 감소효과로 인하여 부분적으로 강도가 증가될 뿐만 아니라 내구성 측면에서도 큰 문제는 발생되지 않는 것으로 보고되고 있다. 그러나 이러한 실험결과는 소량의 순환골재를 표건상태 및 표준 양생방법으로 관리하는 엄격한 품질조건하에서 얻어진 실험결과로서, 실제 공사현장 조건을 고려한 레미콘 배합에서는 골재와 콘크리트의 대량 생산/취급으로 인하여 골재의 표건상태 관리 또는 미립분에 대한 관리가 현실적으로 어려운 것으로 예상되므로, 이로 인해 발생 가능한 콘크리트의 부분적인 성능저하에 관한 검증연구가 필요할 것으로 판단된다.

따라서 본 연구에서는 실 구조물의 시공상황과 동일한 레미콘 배합에 의해 생산된 순환굵은골재 콘크리트의 치환율에 따른 재료역학적 특성을 평가하기 위한 연구를 계획하였다. 이 때 순환굵은골재는 순환골재 품질기준을 대표할 수 있도록 품질성능의 하한치를 만족하는 재료를 선정하였다.

2. 실 험

본 연구는 순환굵은골재 콘크리트의 역학적 특성에 관한 것으로 1) 레미콘 배합에 의해 생산된 순환골재 콘크리트의 강도특성치에 대한 규준식의 검토, 2) 순환골재 품질기준을 대표하는 순환굵은골재

* 정회원, 충남대 건축공학과 박사과정

*** 정회원, 한국건설기술연구원, 수석연구원, 공학박사

**** 정회원, 한국건설기술연구원, 연구위원

** 정회원, 충남대 건축공학과 교수, 공학박사

**** 정회원, 한국건설기술연구원 연구원, 공학석사

의 현장적용성 평가, 3) 순환굵은골재 치환률에 따른 영향 등을 평가하고자 표 1과 같이 실험을 계획하였다.

순환 굵은골재는 그림 1과 같이 4가지의 입도별 파쇄공정을 거쳐 건설교통부에서 제정된 콘크리트용 순환골재 품질기준의 하한치(흡수율 3.00%, 절건밀도 2.49g/cm³)에 해당하는 골재를 선정하였다. 품질성능 하한치를 설정하기 위한 항목으로는 콘크리트의 품질에 가장 큰 영향을 미칠 것으로 판단되는 골재의 절건밀도 및 흡수율로 설정하였으며, 최종 선정된 순환굵은골재의 특성 및 형상은 표 3에 나타내었다. 순환굵은골재 치환율은 0, 30, 60, 100%로 계획하였으며, 순환굵은골재 콘크리트의 역학적 실험으로는 레미콘 운송에 의한 공기량(KS F 2409) 및 슬럼프(KS F 2402) 경시변화, 순환골재 치환률에 따른 압축강도(KS F 2405), 탄성계수(KS F 2438), 조깅인장강도(KS F 2423) 및 휨강도(KS F 2408) 실험을 실시하였으며, 순환골재 콘크리트의 실험결과를 표 4에 나타낸 일반콘크리트의 규준식과 비교·평가하였다.

표 1 콘크리트의 배합조건

시험체 종류	순환굵은골재 치환율(%)	f _{ck} (MPa)	W/C (%)	S/a (%)	단위중량(kg/m ³)					
					W	C	S	G1(천연)	G2(순환)	AD
W0 ¹⁾	0	27	43.6	46	132	392	823	960	0	2.94
W30	30						823	672	267	
W60	60						823	394	533	
W100	100						825	0	888	

1) W0 : W(Wet curing), 0(Replacement level(%))

3. 실험결과 및 고찰

3.1 공기량 및 슬럼프



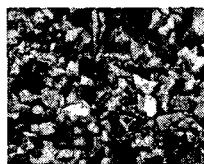
그림 1 순환굵은골재 생산과정

표 2 순환골재 품질기준(안)

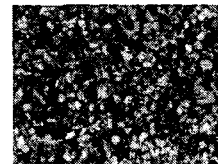
	순환굵은골재	순환잔골재
밀도 (g/cm ³)	2.5 이상	2.2 이상
흡수율 (%)	3.0 이하	5.0 이하
마모감량 (%)	40 이하	-
입자모양판정실적률(%)	55 이상	53 이상
0.08mm체 통과량 시험에서 손실된 양(%)	1.0 이하	7.0 이하
알칼리골재반응	무해할 것	
점토덩어리량(%)	0.2 이하	1.0 이하
안정성(%)	12 이하	10
이물질	유기 이물질	1.0 이하 (용적)
	무기 이물질	1.0 이하 (질량)

표 3 골재의 특성 및 형상

구분	입경 (mm)	절건밀도 (g/cm ³)	흡수율 (%)	단위용적중량 (kg/l)
천연굵은골재	25	2.61	0.64	1.51
순환굵은골재	20	2.49	2.99	1.56



천연굵은골재



순환굵은골재

그림 2 및 3에 나타낸 바와 같이, 순환골재의 치환율 별로 타설 직후에 측정된 콘크리트의 공기량은 4% 내외, 슬럼프는 190mm 내외로 측정되어 순환골재 치환율에 따른 큰 차이를 보이지 않았으며 타설현장까지 1시간 운반거리 후의 공기량 및 슬럼프는 타설 직후에 비해 67.10~89.87% 및 61.54~94.87% 낮게 나타났다. 천연골재를 사용한 W0시험체는 1시간 운반거리 후 현장에서의 슬럼프 Loss가 75mm 발생해 순환골재 콘크리트의 10.0~32.5mm에 비해 크게 나타나 목표 슬럼프인 150mm에 미치지 못하였다. 이러한 결과는 순환골재의 표면 건조상태를 맞추기 위한 Pre-wetting시, 순환골재의 높은 흡수율로 인하여 배합설계에 의해 산정된 양 이상으로 물이 포함되어 순환골재 콘크리트에 슬럼프 Loss가 작게 발생된 것으로 판단된다.

표 4 일반 콘크리트의 표준식

탄성계수	단위질량	단위질량
	1,450~2,500kg/m ³	2,300kg/m ³ (보통골재)
f _{ck} ≤ 30MPa	$E_c = 0.043 w_c^{1.5} \sqrt{f_{ck}}$	$E_c = 4,700 \sqrt{f_{ck}}$
f _{ck} > 30MPa	$E_c = 0.030 w_c^{1.5} \sqrt{f_{ck}} + 7,700$	$E_c = 3,300 \sqrt{f_{ck}} + 7,700$
파괴계수	$f_r = 0.63 \sqrt{f_{ck}} (MPa)$	
조깅인장강도	$f_{sp} = 0.569 \sqrt{f_{ck}} (MPa)$	

3.2 압축강도 및 탄성계수

그림 4는 순환골재 치환율(0, 30, 60, 100%)에 따른 압축강도 특성을 재령(28, 56일)별로 비교하여 나타낸 것으로 꺾은선 그래프는 각 실험결과와 평균값을 나타낸 것이다. 재령 28일 압축강도의 평균치는 37.29~43.50MPa를 나타내 순환골재 치환율에 따라 다소 강도편차를 보였으나, 56일의 압축강도는 42.92~44.31MPa로 순환골재 치환율에 관계없이 유사한 강도특성을 보였다.

그림 5는 순환골재 치환율에 따른 콘크리트의 탄성계수를 콘크리트구조설계기준과 비교하여 나타낸 것으로, 순환골재 콘크리트의 탄성계수는 18.95~28.53GPa로 25.66~30.58GPa의 천연골재 콘크리트에 비해 다소 낮게 나타났는데 이는 순환골재표면에 붙어있는 모르타르에 의한 것으로 판단된다. 또한 천연골재 콘크리트의 탄성계수는 표준식에 근접한 범위의 값을 보이는 반면, 순환골재 콘크리트는 골재가 순환골재의 품질기준을 만족하더라도 탄성계수의 저하가 발생되므로 이를 설계에 고려할 수

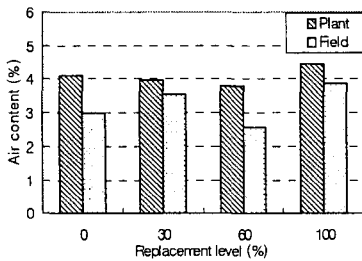


그림 2 공기량의 경시변화

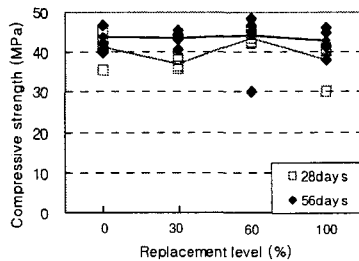


그림 4 재령에 따른 압축강도

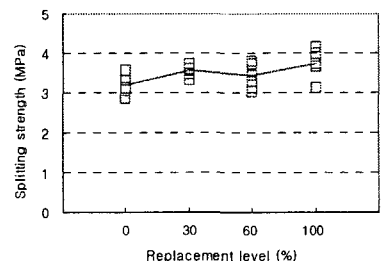


그림 6 쪼갬인장강도

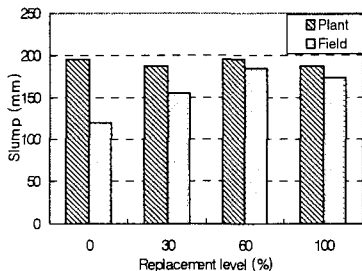


그림 3 슬럼프의 경시변화

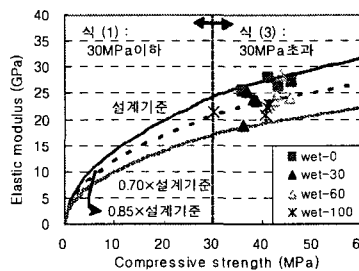


그림 5 탄성계수-압축강도 관계

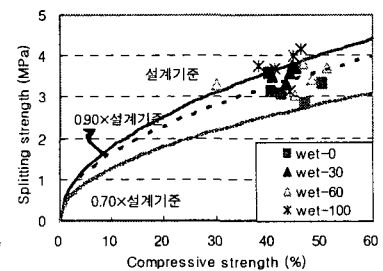


그림 7 쪼갬인장강도-압축강도 관계

있는 보정계수의 제안이 필요할 것으로 판단되며, 탄성계수에 관한 기준식에 0.85의 보정계수를 적용한 결과 본 연구 범위 내에서의 실험값을 만족하는 것으로 나타났다.

3.3 인장강도

그림 6의 쪼갠인장강도 특성에서 순환굵은골재 콘크리트는 치환율에 관계없이 모든 시험체에서 천연콘크리트에 비해 최대 17.2%까지 강도가 증가하는 것으로 나타났다. 순환굵은골재 콘크리트의 쪼갠인장강도-압축강도의 관계를 기준식과 비교한 결과, 실험결과에 대한 추세선으로부터 0.9 정도의 보정계수를 얻을 수 있을 것으로 판단되나, 기건양생 공시체에서 관측되는 추가적인 쪼갠 인장강도의 저하 및 재료 보정계수의 일관성 등으로 고려하여 안전측으로 0.85 정도의 보정계수를 적용하는 것이 바람직할 것으로 판단된다.

3.4 휨강도

그림 8 및 9의 휨강도특성은 표 1의 실험계획과 동일한 시험체를 양생방법만 기건상태로 달리하여 실험한 결과를 나타낸 것이다. 휨강도는 순환굵은골재의 치환율이 증가함에 따라 강도저하가 발생하였으나 기준과의 비교에서는 모든 시험체가 설계기준을 만족하였다. 일반적으로 표준양생의 강도실험결과가 기건양생에 비해 높게 나타나기 때문에 표준양생의 실험결과 또한 설계기준을 만족할 것으로 판단된다.

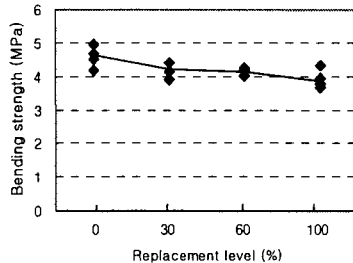


그림 8 휨강도

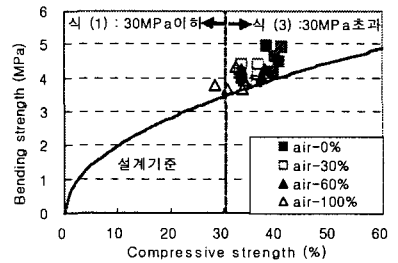


그림 9 휨강도-압축강도 관계

4. 결 론

- 1) 천연골재 및 순환굵은골재를 사용한 콘크리트의 공기량 및 슬럼프는 레미콘 운송을 위한 경시변화에 따라 측정값이 저하되는 것으로 나타났다.
- 2) 순환굵은골재 콘크리트의 역학적 특성은 치환율이 증가함에 따라 저하하는 것으로 나타났으며, 특히 탄성계수, 쪼갠인장강도는 기준값을 만족하지 못하는 것으로 나타났다. 본 실험결과에 의해, 탄성계수 및 쪼갠인장강도에 대한 기준식에 0.85의 보정계수를 적용하면 합리적일 것으로 판단된다.
- 3) 순환굵은골재 콘크리트의 휨강도는 압축강도 및 탄성계수와 유사하게 치환율이 증가함에 따라 강도가 저하하는 것으로 나타났으나, 모든 시험체가 설계기준을 만족하는 것으로 나타났다.

감사의 글

본 연구는 건설교통부가 출원하고 한국건설교통기술평가원에서 위탁시행한 2005건설핵심기술연구개발사업 05건설핵심D02 “건설폐기물 재활용 기술 개발”의 일부로서, 관계제위께 깊은 감사를 드립니다.

참고문헌

1. “건설폐기물 재활용 촉진에 관한 법률”(2003)
2. 김선호, 한범석, 안종문, 신성우(2002), “재생굵은골재의 함유량에 따른 철근콘크리트 보의 휨거동에 관한 연구”, 대한건축학회 논문집, v.22 n.1, pp. 83-86
3. 이경희(2002), “재생골재를 사용한 철근콘크리트 보의 전단성능과 휨성능에 관한 실험적 연구”, 충남대학교 대학원