

# 순환잔골재 품질에 따른 콘크리트의 강도특성

## Effect of Recycled Fine Aggregate Quality on Strength Properties of Concrete

전에스터\* 윤현도\*\* 장용현\*\*\* 최기선\*\*\*\* 배기선\*\*\*\*\* 김금환\*\*\*\*\*

Jeon, Esther Yun, Hyun Do Jang, Yong Heon Choi, Ki Sun Bae, Kee Sun Kim Keung Hwan

---

### ABSTRACT

This study investigated effect of recycled fine aggregate quality on strength properties of concrete. Some investigations have been carried out to study the strength properties of recycled aggregate concrete. But these have some limitation due to small-scale test in the laboratory. Therefore concrete using this study were fabricated by ready-mix concrete. Variables were quality of recycled fine aggregate(high and low quality) and replacement ratio of 0%, 30%, 60%, 100%(high quality), 35, 70%(low quality).

The change of air content of recycled aggregate concrete were similar to natural aggregate concrete. Replacement ratio of recycled aggregate was not necessarily correlated with compressive strength and modulus of rupture of recycled aggregate concrete.

### 요약

본 연구는 콘크리트의 강도특성에서 잔골재 품질의 영향을 평가하고자 한다. 순환골재 콘크리트의 강도특성에 관한 몇몇 연구가 진행되었으나 대부분의 실험이 실험실 내에서의 소규모 실험이기 때문에 현장적용시 오차가 발생할 수 있다. 따라서 본 연구에 사용된 콘크리트는 레미콘 배합에 의해 생산되었으며, 잔골재의 품질[고품질(순환잔골재) : 흡수율 5%이하, 절건밀도 2.2g/cm<sup>3</sup>이상, 저품질(저품질 순환잔골재) : 흡수율 8.0~10.0%, 절건밀도 2.2g/cm<sup>3</sup>이하]과 치환율[0, 30, 60, 100%(고품질), 35, 70%(저품질)]을 변수로 설정하였다. 실험결과 순환잔골재를 사용한 콘크리트의 공기량 경시변화는 천연골재에 비해 큰 차이를 보이지 않았다. 또한 순환 및 저품질 순환잔골재 콘크리트에서 잔골재 치환율과 압축강도 및 파괴계수와의 상관성은 높지 않은 것으로 나타났다.

---

\* 정회원, 충남대학교, 고지능 콘크리트 구조연구실, 박사과정

\*\* 정회원, 충남대학교, 건축공학과 교수, 공학박사

\*\*\* 정회원, 충남대학교 고지능 콘크리트 구조연구실, 석사과정

\*\*\*\* 정회원, 한국건설기술연구원, 연구원

\*\*\*\*\* 정회원, 대한주택공사 주택도시연구원, 수석연구원, 공학박사

\*\*\*\*\* 정회원, 한국건설기술연구원, 책임연구원, 공학박사

## 1. 서 론

본 연구에서는 순환골재의 활용 촉진 및 현행 품질기준에서 비구조용으로 사용되고 있는 순환잔골재의 구조용도로의 활용확대를 위하여 현재 국내에서 생산 가능한 콘크리트용 순환잔골재의 최대품질을 파악하고 현장 레미콘 배합에 의한 순환잔골재 콘크리트의 재료 및 구조성능을 검토함으로써 구조용 콘크리트로서의 적용성을 검토하고자 하였다. 동일 설계기준강도( $f_{ck}=27\text{MPa}$ )에서 순환골재 품질기준의 하한치를 대표할 수 있는 순환잔골재(흡수율 5%이하, 절건밀도  $2.2\text{g/cm}^3$ 이상)와 저품질 순환잔골재(흡수율 8.0~10.0%, 절건밀도  $2.2\text{g/cm}^3$ 이하)를 사용하여 레미콘 배합에 의해 생산된 콘크리트의 재료 역학적 특성분석을 수행함으로써 순환 및 저품질 순환잔골재 콘크리트를 사용한 부재의 역학적 거동을 예측하기 위한 기초자료를 구축하고자 한다.

## 2. 실험계획 및 사용재료

### 2.1 잔골재의 선정

콘크리트용 순환골재의 품질은 2006년 건설교통부에서 제정된 순환골재 품질기준 및 KS F 2573에서 규정하고 있으며, 순환잔골재의 품질기준은 국내 순환잔골재 제조사의 생산설비 및 품질수준을 고려하여 절건밀도  $2.2\text{g/cm}^3$ 이상, 흡수율 5%이하로 규정하고 있다. 콘크리트용 순환잔골재 및 저품질 순환잔골재의 품질성능을 평가·분석하기 위해 현재 국내에서 생산되는 최대품질의 순환잔골재에 대한 선정시험을 수행하였으며, 반복시험을 통해 흡수율 5.83%이하, 절건밀도  $2.29\text{g/cm}^3$ 의 순환잔골재의 생산하였다. 또한 잔골재 품질에 따른 콘크리트의 역학적 특성분석을 위해 흡수율 7.95%, 절건밀도  $2.15\text{g/cm}^3$ 의 저품질 순환잔골재를 생산하였다. 사용된 각 골재의 일반적인 특성치는 표 1과 같다.

### 2.2 실험계획

본 연구에서는 레미콘 배합에 의해 생산된 순환 및 저품질 순환잔골재 콘크리트의 경화 전/후 물리·역학적 특성을 평가하기 위하여 순환잔골재 치환율(0, 30, 60, 100%) 및 저품질 순환잔골재 치환율(35, 70%)을 실험변수로 실험계획을 수립하였다. 또한 순환잔골재의 밀도/흡수율과 역학적 성능과의 관계를 파악하기 위하여 잔골재의 밀도/흡수율의 관계로부터 순환잔골재의 치환율 60%와 100%를 대체하는 저품질 순환잔골재 치환율을 설정하였으며, 이에 따라 콘크리트 내에서 저품질의 잔골재 비율에 따른 역학적 성능 변화를 검토하도록 하였다.

표 1 골재의 특성

구분	입경 (mm)	절건밀도 ( $\text{g/mm}^3$ )	흡수율 (%)	단위용적중량 ( $\text{kg/m}^3$ )	조립율
천연굵은골재	25	2.68	0.59	1.568	6.66
천연잔골재(강)	5	2.65	0.98	1.489	2.44
순환잔골재	5	2.29	5.83	1.114	2.90
저품질 순환잔골재	5	2.15	7.95	1.090	3.35

표 2 콘크리트의 배합조건

$f_{ck}$ (MPa)	순환 및 저품질 순환 잔골재 치환율 (%)	W/C (%)	S/a (%)	단위중량( $\text{kg/m}^3$ )						
				W	C	G	S1 (천연)	S2 (순환)	S3 (저품질 순환)	AD
27 (순환)	0	43.6	46.0	166	392	968	799	0	0	2.94
	30					968	559	203	0	
	60					968	320	405	0	
	100		968			0	675	0		
27 (저품질 순환)	35	46.0	46.0	166	392	955	520	0	239	2.94
	70					944	239	0	478	

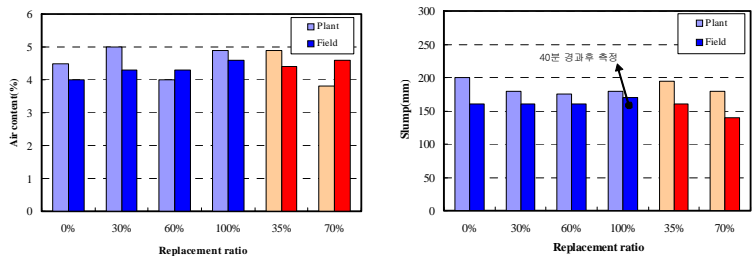
### 2.3 배합계획

현재까지 순환골재 콘크리트에 관한 연구는 소규모의 실험실 실험을 통해 이루어졌다. 따라서 본 연구에서는 비빔방법 및 물량의 차로 인해 현장에서 발생할 수 있는 실험오차를 배제하기 위해 레미콘 배합으로 콘크리트를 제조하였다. 콘크리트의 압축강도는 설계기준강도 27MPa로 설정하였고, 목표 슬럼프는 건축공사에 있어서 가장 일반적으로 사용되는 150mm를 선정하였으며 1시간 운반거리 후 발생되는 슬럼프 loss를 고려하여 배합하였다. 또한, 레미콘 배치(batcher)에서의 순환골재 콘크리트 생산 시에는 순환골재의 흡수율이 콘크리트 품질에 미치는 영향을 최소화하기 위하여 콘크리트 배합 7일 전에 순환골재가 충분히 적셔질 수 있도록 살수기를 이용하여 살수한 후, 비닐을 덮어 수분증발을 최대한 억제한 후 2일 전에 표면상태를 확인한 후 호퍼에 투입하기 전 내·외부 골재를 일부 교반하여 가능한 골재의 흡수율이 균일해지도록 조치하였다.

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1 공기량 및 슬럼프 경시변화

그림 2에서 나타낸 바와 같이, 순환골재의 치환율 별로 공장에서 측정된 콘크리트의 공기량은 4.5% 내외, 슬럼프 185mm 내외로 측정되었다. 1시간 정도의 레미콘 운반 후에 현장에서 측정된 공기량의 경시변화를 살펴보면, 순환 및 저품질 순환골재를 사용한 경우의 공기량은 경시변화 측면에서 천연골재에 비하여 큰 차이를 보이지 않고 대체로 유사한 것으로 나타났다. 그러나 순환골재 치환율 60%와 저품질 순환골재 치환율 70%의 경우에는 측정된 공기량이 순환골재 치환율 30, 100% 및 저품질 순환골재 치환율 35%에 비해 낮게 나타났는데 이는 실험횟수가 적어서 발생한 실험오차인 것으로 판단된다. 또한 그림 2(b)에 나타낸 슬럼프의 경시변화를 살펴보면, 공장에서 측정된 슬럼프치와 슬럼프 loss치가 천연에 비해 흡수율이 높은 순환골재 콘크리트에서 더 작게 나타났는데 이는 천연골재에 비해 둥근 형상을 갖는 골재의 입형과 고성능 AE감수제의 영향 때문인 것으로 판단되며, 순환골재 치환율 100%는 40분경과 후에 슬럼프를 측정하였기 때문에 경시변화가 다소 낮게 나타났다.



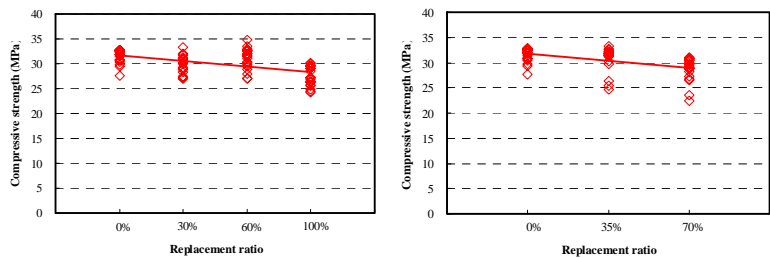
(a) 공기량

(b) 슬럼프

그림 2 공기량 및 슬럼프 경시변화

### 3.2 압축강도 및 파괴계수

순환 및 저품질 순환골재의 치환율과 압축강도의 상관성은 높지 않은 것으로 판단되나, 천연골재를 사용한 콘크리트의 최대강도시 변형률이 순환 및 저품질 순환골재에 비해 다소 크게 나타났다. 그림 4에 나타낸 바와 같이 콘크리트의 파괴계수는 순환골재의 치환율이 증가함에 따라 일부 파괴계수가 증



(a) 순환골재

(b) 저품질 순환골재

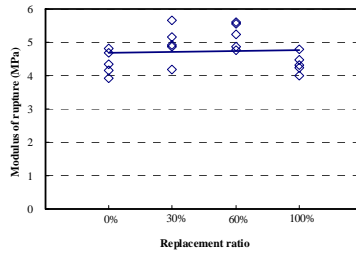
그림 3 압축강도

가하는 것으로 나타났으며, 각 변수별 편차가 크게 나타났지만 기존 연구결과와 비교할 때 편차범위 내에 위치한 것으로 볼 수 있다.

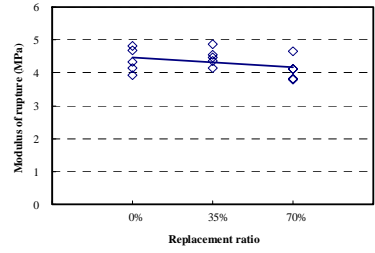
### 3.4 배합강도 검토

콘크리트의 배합강도가 확보되도록 배합하기 위하여 콘크리트구조설계기준에서는

‘2.3.2 콘크리트 배합의 선정’에서 콘크리트의 배합강도 결정을 규정하고 있다. 순환 및 저품질 순환잔골재 콘크리트의 표준편차 및 배합강도를 표 4에 나타내었으며, 배합강도 및 28일 압축강도 실험값을 비교한 결과, 순환잔골재를 30 및 60% 치환한 콘크리트와 저품질 순환잔골재를 35% 치환한 콘크리트는 압축강도 실험값이 배합강도보다 큰 것으로 나타났다. 그러나 순환잔골재와 저품질 순환잔골재를 각각 100, 70% 치환한 콘크리트의 압축강도 실험값이 배합강도보다 작은 것으로 나타나 치환율이 높은 순환 및 저품질 순환콘크리트의 경우 표준편차에 대한 재검토가 필요할 것으로 판단된다.



(a) 순환잔골재



(b) 저품질 순환잔골재

그림 4 파괴계수

표 4 배합강도 계산값 및 실험값 비교

잔골재 치환율(%)	표준편차, s	표준편차 보정	배합강도, $f_{cr}$			배합강도 및 실험값 비교	28일 평균 압축강도	
			식 (1)	식 (2)	식(1), (2) 중 큰 값			
순환	0	1.37	1.47	28.98	26.94	28.98	<	31.51
	30	1.81	1.95	29.62	28.05	29.62	<	29.88
	60	2.11	2.28	30.05	28.80	30.05	<	31.04
	100	1.88	2.03	29.72	28.23	29.72	>	27.40
저품질 순환	35	2.36	2.55	30.42	29.44	30.42	<	30.77
	70	2.31	2.49	30.34	29.30	30.34	>	28.66

## 4. 결론

1) 순환 및 저품질 순환잔골재 콘크리트의 공기량 경시변화는 천연골재에 비하여 큰 차이를 보이지 않고 대체로 유사한 것으로 나타났으며, 슬럼프는 pre-wetting의 차이로 인해 경시변화가 크게 나타났다. 따라서 순환 및 저품질 순환잔골재 콘크리트의 품질관리를 위해 표건상태를 조절하는 것이 매우 중요할 것으로 판단된다.

2) 순환 및 저품질 순환잔골재 콘크리트에서 잔골재 치환율과 압축강도 및 파괴계수의 상관성은 높지 않은 것으로 나타났으며, 기존 연구결과와 비교할 때 변수별 편차는 편차범위 내에 위치하는 것으로 판단된다.

3) 치환율이 높은 순환 및 저품질 순환잔골재 콘크리트의 경우, 배합강도 검토에 사용되는 표준편차에 대한 재검토가 필요할 것으로 판단된다.

## 감사의 글

본 논문은 국토해양부 첨단도시개발사업의 연구비지원(05건설핵심D07)에 의해 수행되었으며, 이 연구에 참여한 연구자의 일부는 『2단계 BK21 사업』의 지원을 받았습니다.

## 참고문헌

1. 순환골재 품질기준(2006), 건설교통부
2. 콘크리트구조설계기준(2007), 한국콘크리트학회