

## 목업 시험을 통한 5~13mm 순환 굵은골재 치환 사용이 콘크리트의 현장적용성에 미치는 영향 고찰

# Effect of Replacement of 5~13mm Recycled Coarse Aggregates on Field Applicability of the Concrete through Mock-up Test

한민철\* · 송영우<sup>1</sup>

Min-Cheol Han<sup>1\*</sup> · Young-Woo Song<sup>1</sup>

(Received February 28, 2017 / Revised March 22, 2017 / Accepted March 22, 2017)

The objective of this paper is to investigate experimentally the effect of replacement of recycled coarse aggregates with 5~13mm in size on a field applicability of concretes through Mock-up test. Seven different mock-up specimens were prepared with the size of 1200×800×800mm simulating column and wall. For the concrete mixtures, 24MPa, 27MPa and 40MPa of nominal strength were adopted with 30% and 70%(only for 24MPa) of 5~13mm recycled coarse aggregate (RCA) replacement and without 5~13mm RCA(Plain). For test items, slump, slump flow, compressive strength with different curing conditions, core drilling, rebound numbers and drying shrinkage were measured. Test results indicated that 30% of 5~13 mm RCA replacement resulted in increase in slump, slump flow and resistance against segregation, while air contents decreased compared to those of plain mixture. Compressive strength of concrete with 30% of 5~13mm RCA was shown to be higher than that of plain mixture due to optimum packing effect associated with presence of well graded aggregates. Rebound number of the mock-up specimen with 30% of 5~13mm RCA had lower fluctuation according to hitting location than that of plain mock-up specimen. It is believed from the results of the study that replacement of 30% of 5~13mm RCA brings desirable improvement in various aspect of concrete performance due to associated dense packing effect.

**키워드** : 5~13mm 순환굵은골재, 연속입도, 목업시험

**Keywords** : Recycled coarse aggregate, Carbonation, Continous grade, Mock-up test

## 1. 서론

콘크리트는 미세입자인 시멘트부터, 혼화재료, 잔골재 및 굵은골재 등 입자의 크기별로 일정한 입도분포를 유지하면서 제조될 때 제반성능을 경제적으로 확보할 수 있다. 특히, 콘크리트 전체 체적중 60%이상을 차지하는 골재의 경우 굵은 입자와 가는 입자가 연속적인 분포를 가져야 이상적이고, 제반 품질 및 경제성 측면에서 유리한 것으로 알려져 있다. 그런데, 국내 실무 레미콘 업계에서는 레미콘 제조시 콘크리트용 굵은골재인 57골재(5~13mm 크기와 13~25mm 크기의 조합)를 적절히 사용하지 않고 이중 5~13mm크기의 골재만을 별도로 투수콘크리트 혹은 아스콘용으로 전용하여 사용함에 따라 실제 레미콘 생산시 5~13mm 골재가

전혀 없거나 매우 부족한 상태로 반입되어 레미콘 제조에 이용되고 있다. 이는 경제적 이유에서 발생하는 현상으로 이렇게 제조된 콘크리트는 불연속 입도를 띄게 되어 부족한 5~13mm 굵은골재를 잔골재가 차지함에 따라 배합상 단위수량 증가, 건조수축 균열 증가 및 내구성 저하 현상 등이 발생하게 된다.

이러한 문제점의 해결방안중 하나로 부족한 5~13mm 부순골재보다 저렴한 양질의 순환골재를 동일한 크기로 분급 제조하여 대신 사용하게 되면 불연속 입도의 해결 및 경제적인 방법으로 품질 향상이 가능할 것으로 판단된다.

한편, Laserna 등은 4~10mm 순환골재와 10~20mm 부순골재를 조합한 일련의 실험을 진행한 바 있다. 연구결과에 따르면 입자 크기별로 선별된 순환골재를 기존 굵은골재에 치환할 경우

\* Corresponding author E-mail: [twhan@cju.ac.kr](mailto:twhan@cju.ac.kr)

<sup>1</sup>청주대학교 건축공학과 (Department of Architectural Engineering, Cheong-Ju University, CheongJu, 28503, Korea)

연속입도구현 및 순환골재 암종 등의 영향으로 부순 골재를 사용한 콘크리트 수준의 압축강도 향상을 기대할 수 있다고 보고하고 있다(Laserna and Montero 2016).

또한, Tan 등은 순환 굵은골재 최대치수를 40mm 이하와 80mm 이하로 제조하여 부분 치환한 콘크리트를 사용한 연구를 통해 80mm 이하 순환 굵은골재를 20% 이하로 치환할 경우 보통 콘크리트와 유사한 강도발현특성을 보여주고 있다고 보고한 바 있다(Tan and Jianzhunag 2016).

이와 관련하여 본 연구진은 5~13mm이하의 순환 굵은골재 (Recycled coarse aggregate; RCA)를 선별하여 이를 콘크리트에 적용함으로써 콘크리트의 제반 물성이 부순 굵은골재 사용 콘크리트와 유사한 수준으로 발휘될 수 있음을 보고한 바 있다(Han and Kang 2015).

따라서 본 연구에서는 전술한 문제점을 해결하고자 콘크리트용 골재의 연속입도 구현을 위한 방안으로 5~13mm 크기로 입도 선별된 RCA를 13~25mm 부순골재에 치환하고 실제 배치플랜트에서 콘크리트를 제조하여 이들의 현장 적용성을 평가하고자 한다. 이를 위해 Mock-up부재를 제작한 후 콘크리트를 타설하고 제반 물성을 고찰함으로써 향후 순환골재의 효율적인 활용에 기여하고자 한다.

## 2. 실험계획 및 방법

### 2.1 실험계획

본 연구의 실험계획은 Table 1과 같고, 배합사항은 Table 2와 같다. 먼저, 목업 시험체용 콘크리트의 호칭강도 수준은 24, 27 및 40MPa의 3수준으로 선정하였다. 현행 시방서 및 KS 규격에 따르면 순환골재는 27MPa 이하에서만 사용하도록 규정하고 있으나, 본 연구에서는 특정입도의 RCA를 치환하여 사용함에 따라 그 이상의 강도수준에서도 사용이 가능할 것으로 판단되어 40MPa를 추가하였다.

결합재는 보통 포트랜드 시멘트에 고로슬래그를 10%치환한 2 성분계를 사용하였다. 목표 슬럼프는 5~13mm 크기 RCA를 치환하지 않은 플레인 배합의 24 및 27MPa급은 150±25mm, 40MPa 급은 고유동으로 설계하여 목표 슬럼프 플로 550±50mm를 만족하도록 고성능 감수제량을 결정한 후 이후 모든 배합에 동일하게 적용하였다.

굵은골재의 종류 및 조합으로 13~25mm 크기 부순굵은골재에 5~13mm RCA를 치환하는 것으로 계획하였는데, 치환율은 강도수

Table 1. Experimental plan

Items		Levels	
Mixture	Nominal strength(MPa)	3	24, 27, 40
	Mock-up specimen size(mm)	1	1200×800×800
	Target slump (mm)	1	150±25(24, 27MPa) 550±50(Slump flow for 40MPa)
	Target air(%)		4.5±1.5
	RCA under 13mm ratio(%)	3	0, 30, 70 <sup>1)</sup>
Experimental	Fresh concrete	3	· Slump(24, 27 MPa), slump flow (40MPa) · Air contents · Unit weight volume · Bleeding
	Hardened concrete	4	· Compressive strength - Standard curing(7, 28 56days) - Job site curing (7, 28 56days) · Rebound number(7, 28days) - bottom, middle, top section · Core drilling(28days) · Drying shrinkage(1~90days)

1) Only applied for nominal strength of 24MPa

Table 2. Mixture proportions of concretes

Mixing standard	5~13mm Recycled coarse aggregate ratio(%)	W/B (%)	S/A (%)	SP/c (%)	Weight mix(kg/m <sup>3</sup> )					
					W	OPC	BS	S	NA	RA
25-24-150	0(Plain)	50	48.9	0.7	169	305	34	856	925	0
	30	50	48.9	0.7	169	305	34	856	647	278
	70	50	48.9	0.7	169	305	34	856	27	647
25-27-150	0(Plain)	45.9	48.1	0.7	168	330	37	832	929	0
	30	45.9	48.1	0.7	168	330	37	832	650	279
25-40-600	0(Plain)	37.0	45.5	0.9	164	400	44	766	949	0
	30	37.0	45.5	0.9	164	400	44	766	664	285

준에 관계없이 13~25mm 크기 부순굵은골재에 0, 30%를 치환하는 2수준으로 결정하였고 이는 실험실 실험을 통해 최적치로 결정된 치환율에 해당되어 결정하였다(Han and Kang 2015). 단, 24MPa 급의 경우 실무에서 가장 일반적으로 사용되는 조건으로 대표적으로 5~13mm 크기의 작은 입경 골재가 많이 사용된 경우의 특성을 고찰하고자 치환율 70% 1수준을 추가적으로 실험 계획하였다.

목업 시험체는 Fig. 2에 제시된 바와 같이 기둥 및 벽체를 가정하

여 1200×800×800mm으로 제작하였고, 이중 200×200×800mm의 벽체가 별도로 부착되도록 계획하였다. 실험사항으로 굳지않은 콘크리트는 슬럼프, 슬럼프 플로, 공기량 및 블리딩량을 측정하였고, 경화콘크리트는 표준양생공시체의 압축강도, 구조체 관리용 공시체의 압축강도, 목업시험체 높이별 반발도, 코어 압축강도 및 건조수축을 측정하는 것으로 계획하였다.

## 2.2 사용재료

본 연구의 사용재료로서 먼저 시멘트는 국내산 1종 보통포틀랜드 시멘트를 사용하였고, 혼화재료로서 고로슬래그는 A사산 3종을 사용하였는데, 각각의 물리적 성질은 Tables 3 및 4와 같다.

골재로서 굵은골재는 순환골재의 경우 충북 청원 B사산 5~13mm 크기의 순환골재를 사용하였고, 부순 굵은골재의 경우 충북 청원산 25mm 화강암 부순 골재를 사용하였다. 또한, 잔골재는 충북 제천산 강모래와 제천산 부순모래를 9:1의 비율로 혼합한 혼합 잔골재를 사용하였다. 한편, 25mm 부순 굵은골재에 5~13mm RCA의 치환율을 변화시켜 얻은 각각의 입도곡선이 Fig. 1에 제시되어 있다. 혼화제로서 고성능 감수제는 폴리칼본산계를 사용하였고, AE제는 음이온계를 사용하였는데, 각각의 물리적 성질은 Tables 5~6과 같다.

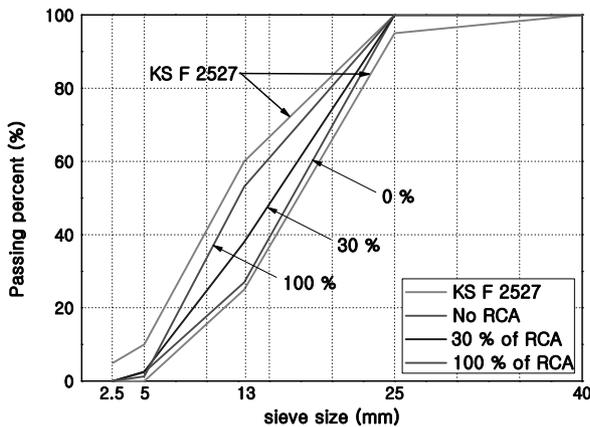


Fig. 1. Grading of aggregates depending on RCA replacement

Table 3. Physical properties of cement

Density (g/cm <sup>3</sup> )	Blaine (cm <sup>2</sup> /g)	Stability (%)	Setting time (min)		Compressive strength (MPa)		
			Initial set	Final set	3days	7days	28days
3.15	3,390	0.05	230	345	24.8	39.3	56.9

Table 4. Chemical composition and physical properties of blast furnace slag

Density (g/cm <sup>3</sup> )	Fineness (cm <sup>2</sup> /g)	L.O.I (%)	Hygros-copic moisture (%)	Composition ratio (%)				
				Cl	SO <sub>3</sub>	MgO	SiO <sub>2</sub>	CaO
2.90	4,520	1.2	0.23	0.002	1.95	5.26	34.2	42.5

Table 5. Physical properties of aggregates

Aggregates	Density (g/cm <sup>3</sup> )	Fineness modulus	Absorption ratio (%)	Unit weight volume (kg/m <sup>3</sup> )	0.08mm sieve passing (%)	
						Fine
	Crushed sand	2.53	3.26	0.46	1,684	0.32
Co-arse	Crushed	2.59	6.55	0.58	1,564	0.40
	Recycled	2.55	6.70	3.0	1,468	0.88

Table 6. Physical properties of chemical agents

Type	Main ingredient	Form	Color	Density (g/cm <sup>3</sup> )
Superplasticizer	polycarbonate	Liquefied	Dark brown	1.05
AE agent	Anion	Liquefied	Light dark brown	1.04

## 2.3 실험방법

본 연구의 실험 방법으로 먼저, 콘크리트의 혼합은 상용레미콘의 배치 플랜트에서 제조하였다. 굳지않은 콘크리트의 실험으로 슬럼프는 KS F 2402, 공기량은 KS F 2421, 단위용적질량은 KS F 2409에 의거하여 측정하였고, 블리딩 실험은 KS F 2414에 의거하여 측정하였다.

목업 시험체의 제작은 Fig. 2에 제시된 바와 같이 기둥을 모사한 1000×800×800mm 시험체와 벽체를 모사한 200×200×800mm 시험체로 계획하여 호칭강도 배합별로 총 7개를 제작하였다.

경화 콘크리트의 시험으로 압축강도는 KS F 2403에 의거하여 Ø100×200mm 원주형 공시체를 제작, 탈형하여 표준양생 공시체의 경우 소정의 재령까지 수중 양생하였고, 구조체 관리용 공시체의 경우 목업 시험체 인근에서 소정의 재령까지 현장 수중양생을 실시하였다. 이후 재령 7일 및 28일에서 각각 3개씩의 공시체를 3 MN UTM을 이용하여 KS F 2405에 의거 압축강도를 측정 후 평균값을 압축강도로 측정하였다. 한편, 반발도 측정은 목업부재 중 기둥부분을 250mm씩 상부, 중앙부, 하부로 구분하여 재령 7일 및 28일에서 20개소씩 타격 후 반발도를 측정하였다. 코어 압축강

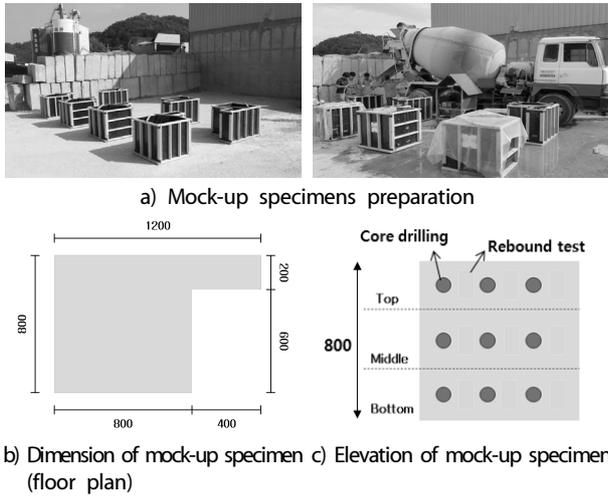


Fig. 2. Mock-Up specimens set-up

도의 경우 재령 28일에 목업 시험체의 기둥부분 중앙부에서  $\varnothing 100 \times 200\text{mm}$  크기로 3개씩 샘플을 채취하여 압축강도를 측정 후 평균값을 사용하였다.

건조수축 길이변화율은 KS F 2424에서 제시된 콘택트 게이지 측정 방법을 이용하였는데, 목업 시험체 중앙부위에 게이지를 매설 후 콘택트 게이지를 이용하여 재령별로 3회 측정후 평균값을 길이 변화율값으로 사용하였으며, 재령 91일까지 측정하였다. 단, 온도변화에 따른 측정값의 변화를 보정하여 적용하였다.

### 3. 실험결과 및 분석

#### 3.1 슬럼프 및 슬럼프 플로

Fig. 3은 5~13mm RCA 치환율별 슬럼프 및 슬럼프 플로를 호칭 강도별로 구분하여 나타낸 것이다. 전반적으로 13mm이하 RCA 무치환(플레인)의 경우 호칭강도 24 및 27MPa의 경우 배합설계에 의해 목표 슬럼프인  $150 \pm 50\text{mm}$ 를 만족하는 것으로 나타났고, 호칭강도 40MPa의 경우도 목표 슬럼프 플로를 만족하는 것으로 나타났다.

한편, 13mm 이하 RCA가 30% 치환됨에 따라 24 및 27MPa의 경우 슬럼프가 플레인 대비 약간 증가하는 것으로 나타났고, 40MPa의 경우 슬럼프 플로가 5%정도 증가되는 것으로 나타났다. 이는 기존 연구와 동일한 결과로 5~13mm 순환골재가 치환됨에 따라 골재간 최밀 충전 효과로 입도분포가 연속 입도화에 의하여 유동성이 향상된 것으로 판단된다(Han&Kang 2015). 반면에 24MPa 조건에서 13mm 이하 RCA를 70% 치환한 경우 슬럼프가 15mm

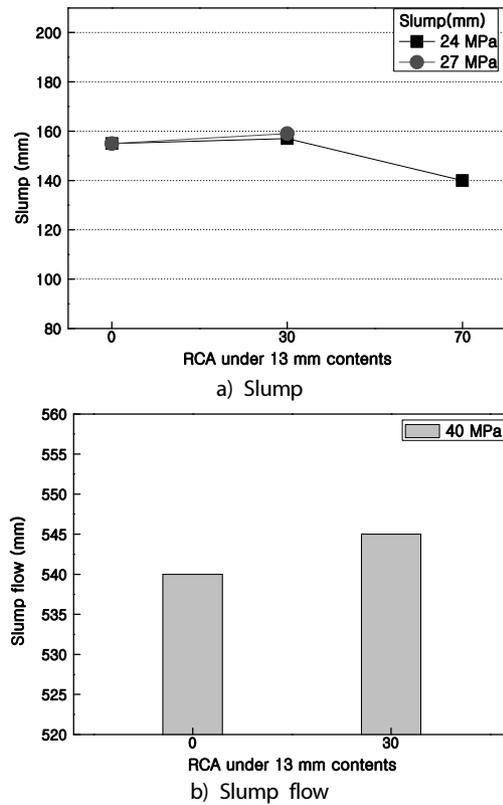


Fig. 3. Slump and slump flow of the concretes depending RCA under 13mm replacement

정도 저하하는 것으로 나타났다. 이는 13mm이하 RCA량이 급격히 증가하여 RCA의 비교적 높은 흡수율 및 작은 입경의 골재량이 증가함에 따라 유동성이 감소하여 나타난 결과로 사료된다.

#### 3.2 공기량 및 단위용적질량

Fig. 4는 13mm이하 RCA 치환율 증가에 따른 공기량 및 단위용적질량을 호칭강도별로 구분하여 나타낸 것이다.

전반적으로 호칭강도와 5~13mm RCA 치환율에 상관없이 모두 목표 공기량 범위인  $4.5 \pm 1.5\%$ 보다 다소 높은 공기량을 나타내었으나, 생산된 레미콘의 경우 공사현장까지 운반시 진동 및 비빔에 의해 발생하는 소포작용으로 공기량 저하를 감안 하면 모두 목표치를 만족할 것으로 예상된다. 먼저 호칭강도 24MPa의 경우 5~13mm RCA 치환율이 증가함에 따라 공기량은 감소하는 경향을 나타내었고, 27, 40MPa의 경우에도 5~13mm RCA 치환율이 증가함에 따라 감소하는 경향을 나타내었다. 이는 5~13mm RCA가 치환 충전됨에 따라 콘크리트 내부에 골재가 연속입자로 적절하게 분포되어 공극이 감소함과 동시에 콘크리트의 공극 충전효과에 기인하는 것

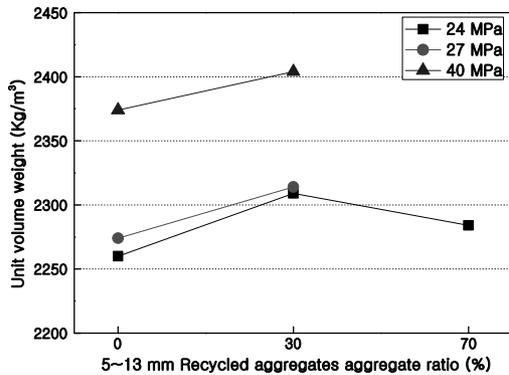
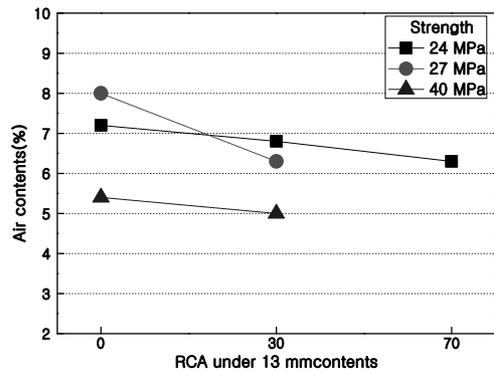


Fig. 4. Air contents and unit volume weight of the concretes depending on RCA under 13mm replacement

으로 판단된다.

단위용적질량의 경우 전반적으로, 5~13mm RCA 치환율이 증가함에 따라 5~13mm RCA를 치환하지 않은 플레인 배합보다 증가하는 경향을 나타내었는데, 이는 호칭강도에 상관없이 공기량의 영향으로 증가하는 경향을 나타내었다.

### 3.3 블리딩

Fig. 5는 재료분리 저항성의 지표로서 호칭강도 24 및 27MPa인 일반강도 콘크리트의 블리딩량을 5~13mm RCA 치환율 별로 구분하여 나타낸 것이다. 예상대로 골재 최밀 충전 효과에 기인하여 5~13mm RCA를 30% 치환한 배합에서 블리딩량이 8~10%정도 감소하는 것을 확인할 수 있었다.

### 3.4 공시체 양생 조건별 압축강도 특성

Fig. 6은 5~13mm RCA 무치환과 30%치환에 따른 표준양생 조건 공시체와 구조체 관리용 공시체의 재령별 압축강도를 호칭강도별로 비교하여 나타낸 것이다.

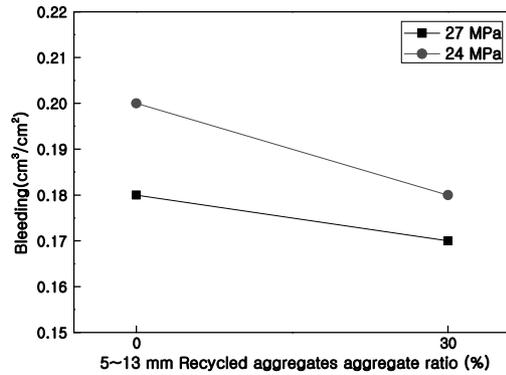
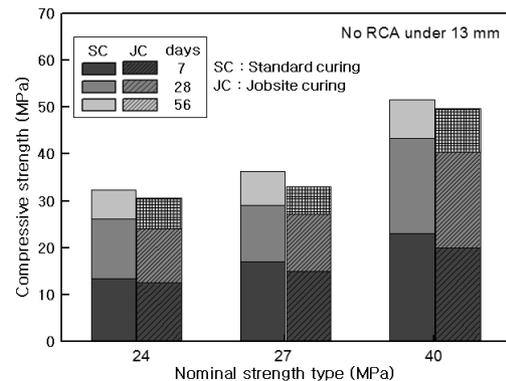
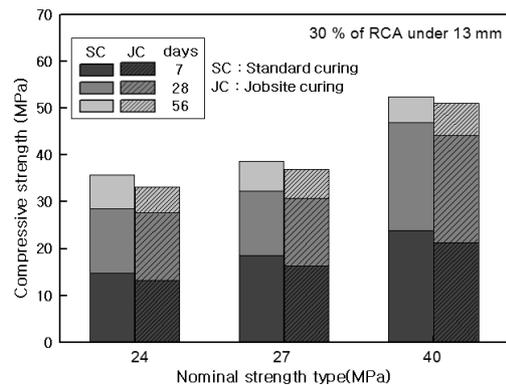


Fig. 5. Bleeding water depending on RCA under 13mm replacement



a) No RCA under 13mm



b) 30% of RCA under 13mm

Fig. 6. Comparison of compressive strength of the concretes without RCA between standard curing and jobsite curing

먼저, 양생방법에 따른 영향으로 표준양생을 실시한 경우 현장 수중양생을 실시한 구조체 관리용 공시체에 비해 압축강도가 5~10%정도 높게 발휘되었는데, 이는 콘크리트 타설당시 외기온이 낮은 관계로(시험기간동안 일 평균기온 15℃정도) 외기에 노출된 구조체 관리용 공시체의 압축강도가 낮게 나타난 것으로 판단된다. 이러한 경향은 5~13mm RCA 치환여부에 관계없이 유사한

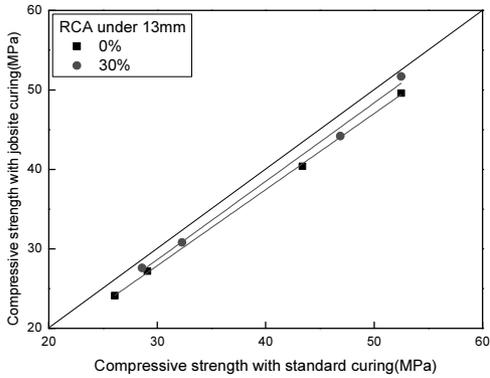


Fig. 7. Comparison of compressive strength between standard curing and jobsite curing depending on RCA under 13mm replacement

경향으로 나타났다.

한편, 5~13mm RCA 치환여부에 따른 압축강도의 경우 RCA를 30% 치환한 경우 플레인에 비해 압축강도가 3~5%정도 증가하는 경향을 보였으며, 특히 재령 56일에서 증가정도가 크게 나타났다. 이는 전술한바와 같이 5~13mm RCA의 치환에 따른 골재의 연속 입도 분포로 최밀 충전과 그에 따르는 공기량 감소 효과 등에 의해 기인된 결과로 판단된다. 이와 관련하여 기존의 연구결과에 따르면, RCA치환율이 증가할수록 RCA자체의 저품질로 인해 압축강도가 저하되는 것으로 보고되고 있는데(Sim et al. 2006), 본 연구는 다른 경향을 보였다. 이와 관련하여 Moini et al 등의 연구결과에 따르면 콘크리트의 압축강도에 미치는 제반요인인 공기량, 골재 흡수율등 보다, 골재의 최밀 충전 효과가 더욱 강한 영향을 미치는데, 적절하게 입도분포가 이루어진 콘크리트는 골재가 양호한 하중전달능력을 보임에 따라 압축강도에 보다 강한 영향을 미치는 것으로 설명하고 있다(Moini et al. 2015). 아울러 본 연구에서 사용한 RCA는 제조과정에서 부착모르타르를 최대한 제거하여 고품질화 하였는데, 이러한 요인도 강도향상에 기여한 것으로 사료된다.

Fig. 7은 Fig. 6을 토대로 재령과 RCA치환 여부에 관계없이 표준양생과 구조체 관리용 공시체의 압축강도를 상호 비교한 것이다. 전술한바와 같이 표준양생 공시체의 압축강도가 전 강도 영역에서 구조체 관리용 공시체보다 높게 나타남을 확인할 수 있었다.

### 3.5 코어 압축강도 특성

Fig. 8은 5~13mm RCA 치환율 변화에 따른 재령 28일 코어 압축강도를 호칭강도별로 구분하여 나타낸 것이다. 먼저 호칭강도 별로 5~13mm RCA를 사용하지 않은 경우 각각의 호칭강도에 2~3MPa정도 미달되는 것으로 나타났다. 이는 코어채취 과정에서

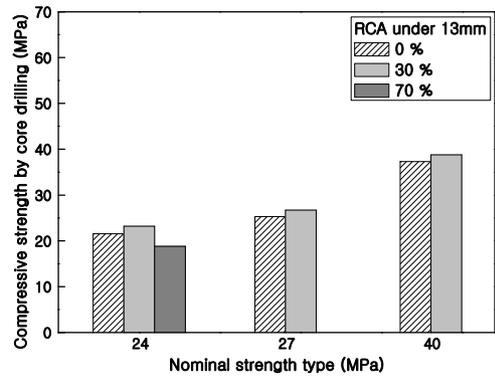
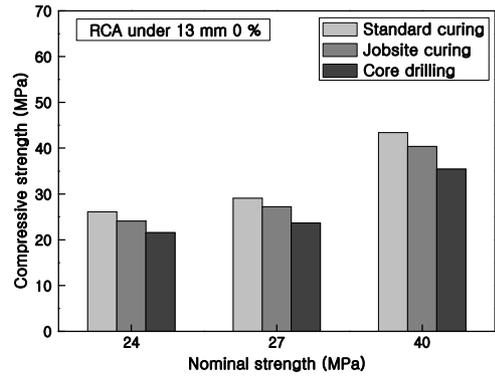
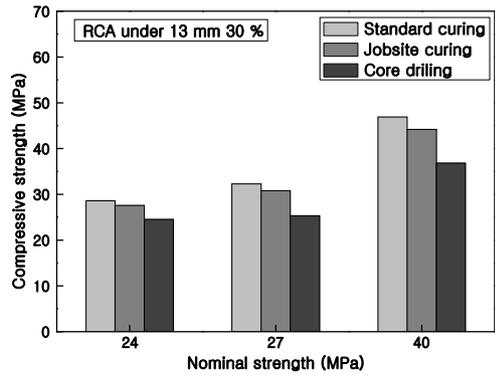


Fig. 8. Compressive strength of concretes by core drilling depending on nominal strength and RCA replacements



a) 0% RCA under 13mm



b) 30% of RCA under 13mm

Fig. 9. Comparison of compressive strength between standard curing and jobsite curing and core specimen at 28days depending on RCA under 13mm replacements

코어공시체가 미세균열 및 손상되어 나타난 현상으로 판단된다. 반면에 5~13mm RCA를 30% 치환한 경우 플레인보다 5~10%정도 코어 압축강도가 높게 나타나고 있는데, 이는 전술한 골재 연속 입도에 의한 최밀 충전 효과로 판단된다. 단, 호칭강도 24MPa의 5~13mm RCA를 70% 치환한 경우 플레인에 비해 5MPa정도 코어

압축강도가 저하하는 것으로 나타났다. 이는 잔입경의 순환 굵은골재가 다량 치환됨에 따라 입도의 불량화 및 순환골재 자체의 저품질 특성 때문으로 판단된다.

Fig. 9는 재령 28일에서 공시체 양생조건에 따른 압축강도 및 코어압축강도를 비교하기 위해 5~13mm RCA 치환율별 압축강도를 상호 비교한 것이다. 예상한 바와 같이 표준양생 공시체, 구조체 관리용 공시체, 코어압축강도의 순으로 압축강도가 높게 나타나고 있음을 알 수 있었다. 이는 전술한 바와 같이 공시체 양생기간 동안 온도의 차이 및 코어채취 과정에서의 강도손상 등에 기인하여 나타난 것으로 사료된다.

### 3.6 슈미트 해머에 의한 반발도

Fig. 10은 호칭강도 및 5~13mm RCA 치환율별 재령 7일 및 28일에서 Mock-up부재의 반발도를 타격 높이별로 각각 구분하여 나타낸 것이다.

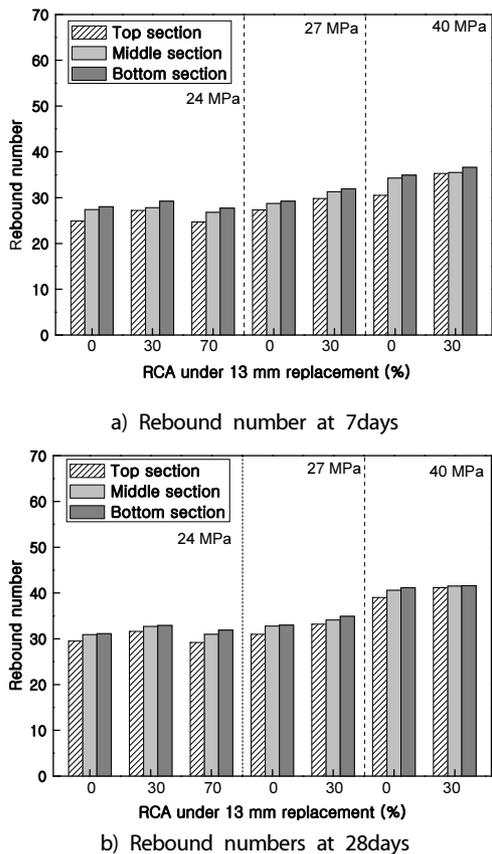


Fig. 10. Results for rebound numbers of the mock-up specimens depending on nominal strength and RCA under 13mm replacements

먼저, 타격높이별 반발도의 영향으로 플레인의 경우 상부로 갈수록 반발도가 작게 나타났는데, 24MPa의 경우, 상부 타격과 중앙부 및 하부 타격간에 5~9%정도 반발도 차이가 나타났다. 이는 무게가 무거운 굵은골재가 하부로 침강함에 따라 상부에는 모르타르 층이 많이 존재하여 반발도가 낮게 측정되는 것으로 판단된다.

반면에 5~13mm RCA가 30%치환된 경우 상부와 중앙부 하부간의 반발도 차이가 1~3%수준으로 감소함을 알 수 있었다. 이는 5~13mm RCA 치환에 따른 최밀 충전 및 공극량 감소로 재료분리 저항성이 향상되어 타설 후 진동다짐 과정에서 무게가 무거운 굵은골재의 침하가 적게 되어 나타난 결과로 사료된다. 27MPa 및 40MPa 시험체의 경우도 5~13mm RCA치환에 따라 반발도 타격부위간 편차가 감소함을 확인할 수 있었다. 단, 24MPa에 RCA를 70% 치환한 경우 작은 입경의 굵은골재가 증가하면서 굳지않은 콘크리트의 재료분리 저항성이 감소하여 골재가 하부로 가라앉음에 따라 타격부위별 반발도 차이가 증가함을 알 수 있었다. 또한, 반발도의 절대값에 있어서도 30%의 5~13mm RCA가 치환된 경우 반발도가 무치환보다 증가함을 확인할 수 있었다. 따라서 실무현장에서 5~13mm 굵은골재가 부족하거나 없는 상태로 콘크리트를 제조할 경우 불연속 입도에 의한 재료분리현상으로 구조체 콘크리트 상하간의 강도차이가 발생하기 때문에 이러한 현상을 방지하기 위한 품질관리 차원에서 5~13mm 굵은골재의 적절한 혼입이 반드시 필요할 것으로 사료된다.

### 3.7 건조수축 길이변화율

Fig. 11은 호칭강도 및 5~13mm RCA 치환율별 Mock-up부재의 재령경과에 따른 건조수축 길이변화율 측정결과를 나타낸 것이다. 건조수축은 실험방법에서 설명한 바와 같이 구조체에 컨택트 게이지를 부착하여 측정하였다.

먼저, 호칭강도 24MPa의 5~13mm 순환 굵은골재 치환율 0%의 경우 재령 91일에서  $-812 \times 10^{-6}$ 으로 큰 건조수축 길이변화율을 나타내었고, RCA 치환율 70 및 30%의 순서로 수축이 감소하는 것으로 나타났으며, 13mm 이하 RCA를 치환하지 않은 Plain배합에 비해 약 6%정도 감소하는 것으로 나타났다. 종전연구결과에 따르면 순환골재를 사용할 경우 부착 모르타르의 높은 흡수율 및 골재자체의 낮은 탄성으로 인해 건조수축이 일반콘크리트보다 증가하는 것으로 보고하고 있는데(Na et al, 2008), 본 연구결과에서는 5~13mm RCA만을 입도 선별하여 치환함에 따라 연속입도 구현에 의한 최밀 충전 효과 등으로 콘크리트자체의 압축강도가 5~13mm RCA 무치환 콘크리트보다 크게 나타나서 얻어진 결과로

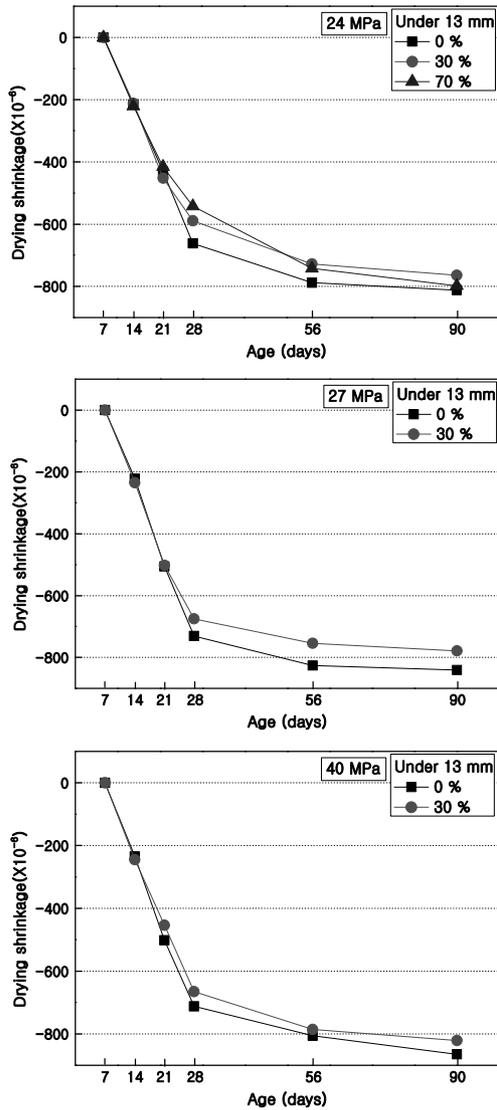


Fig. 11. Evolution of drying shrinkage according to age depending on 5~13mm RCA replacement

사료된다.

한편 호칭강도 27MPa 경우 굵은골재의 연속입자 분포를 이루지 못한 플레인 배합에서는  $-841 \times 10^{-6}$ 으로 나타났고, 5~13mm RCA 30% 치환 사용의 경우  $-779 \times 10^{-6}$ 으로 Plain에 비해 약 10%정도의 건조수축 길이변화율이 감소하는 것으로 나타났다. 호칭강도 40MPa에서도 5~13mm RCA 치환율이 증가할수록 감소하는 경향을 나타내었다.

#### 4. 결론

본 연구에서는 입도선별을 통해 5~13mm RCA를 13~25mm 부

순 굵은골재에 치환하여 이들이 콘크리트의 공학적 특성에 미치는 영향을 현장적용성 차원에서 고찰하고자 Mock-up 시험을 실시하였는데, 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 5~13mm RCA를 30% 치환한 경우 슬럼프가 골재의 연속입도 구현에 따른 효과로 플레인 배합에 비해 다소 증가하는 것으로 나타났고, 아울러 연속입도구현에 따른 최밀 충전 효과로 재료 분리 저항성 지표인 블리딩량이 플레인에 비해 감소하는 것을 확인할 수 있었다.
2. 압축강도 특성으로 5~13mm RCA를 30%치환한 경우 호칭강도별로 차이가 있으나 플레인보다 압축강도가 3~5%정도 증가하는 것으로 나타났다. 표준양생 공시체의 압축강도는 구조체 관리용 공시체 및 코어 공시체의 압축강도보다 높게 나타났으며, RCA 치환여부에 따른 공시체간의 차이는 주목할 만한 수준은 아닌 것으로 나타났다.
3. Mock-up 시험체 높이별 반발도 측정결과 RCA 30% 치환 배합이 Mock-up 부재 상부, 중앙부 및 하부간의 반발도 차이가 플레인 배합보다 4~6%정도 감소하는 것으로 나타났는데, 이는 골재의 연속입도 구현에 따른 최밀 충전 효과로 골재의 침하가 적게 이루어져서 나타난 결과로 판단된다.
4. Mock-up부재의 건조수축 특성으로 5~13mm RCA 30%치환한 배합이 플레인 배합보다 다소 낮은 건조수축값을 갖는 것으로 나타났다.

#### References

Choi, D.S., Moon, S.H., Jo, K.H. (2006). A study on analysis of Korea's construction wastes recycle condition through on-site research, Journal of the Architectural Institute of Korea, **24(4)**, 133-140.

Han, M.C., Kang, B.H. (2015). Effect of the replacement of recycled coarse aggregates under 13mm on engineering properties of the concrete the korea institute of building construction conference proceeding, Journal of Recycled Construction Resources, **3(1)**, 43-49 [in Korean].

Laserna, S., Montero, J. (2016). Influence of natural aggregates typology on recycled aggregate concrete strength properties, Construction and Building Materials, **115**, 78-86.

Lee, S.H., Shim, J.W. (2007). Enactment Provision of Recycled Aggregate Concrete, Magazine of the Korea Concrete Institute, **22(1)**, 33-35 [in Korean].

Moini, M., Vivian, I., Amirjanov, A., Sobolev, K. (2015). The optimization of aggregate blends for sustainable low cement concrete, *Construction and Building Materials*, **93**, 627–634.

Na, C.S., Lee, H.J., Nam, J.S., Kwon, S.K., Kim, G.Y., Kim M.H. (2008). Study on the shrinkage properties of concrete using recycled fine aggregate, *Proceedings of the Korea Concrete Institute*, **20(2)**, 681–684 [in Korean].

Sim, J.S., Park, C.W., Park, S.J., Kim, Y.J. (2006). Characterization

of compressive strength and elastic modulus of recycled aggregate concrete with respect to replacement ratios, *Journal of the Korean Society of Civil Engineers*, **26(1A)**, 213–218.

Tan, L., JianZhuang, X., Cimian, Z., Zheng, Z. (2016). Experimental study on mechanical behaviors of concrete with large size recycled coarse aggregate, *Construction and Building Materials*, **120**, 321–328.

**목업 시험을 통한 5~13mm 순환 굵은골재 치환 사용이 콘크리트의 현장적용성에 미치는 영향 고찰**

본 연구에서는 5~13mm 순환골재를 치환한 콘크리트의 현장 적용성을 평가하기 위하여 목업 시험체를 제작하여 콘크리트를 타설한 후 이들이 콘크리트의 제반특성에 미치는 영향을 실험적으로 고찰하고자 하였다. 기둥 및 벽체를 모사한 1200×800×800mm 목업 시험체를 호칭강도 및 5~13mm 순환골재 치환율별로 7개 제작하였고, 24, 27 및 40MPa 급 호칭강도의 콘크리트에 5~13mm 순환골재 30%와 70%(24MPa만 해당)를 치환한 배합과 무치환배합을 선정하여 제조하였다. 실험항목으로 굳지않은 상태에서 슬럼프, 슬럼프플로, 블리딩을 측정하였고, 경화상태에서는 압축강도, 반발도, 코어강도 및 건조수축 길이변화율을 측정하였다. 연구결과 5~13mm 순환골재가 30% 치환된 경우 슬럼프, 슬럼프플로, 블리딩량은 플레인에 비해 향상되는 것으로 나타났고, 압축강도의 경우도 최밀 충전 효과에 기인하여 플레인보다 상승되는 것으로 나타났다. 목업 시험체의 높이별 반발도의 경우도 5~13mm 순환골재가 30%치환된 경우 상하간의 반발도차이가 감소되는 것을 알 수 있었다.