

# 5~13mm 입도분급 순환 굵은 골재 혼합사용에 따른 콘크리트의 특성평가

## Property Evaluation of the Concrete Replacing 5-13mm Recycled Coarse Aggregates

한민철\*

송영우

Han, Min-Cheol\*

Song, Young-Woo

Department of Architectural Engineering, Cheong-Ju University, SangDang-Gu, CheongJu, 28503, Korea

### Abstract

This paper is to investigate experimentally the effect of substitution of recycled coarse aggregate(RCA) under 13mm on the engineering properties of the concrete using gap graded coarse aggregates. Concretes with 0.4 of water to cement ratio(W/C) were fabricated to achieve 30MPa of design strength with coarse aggregate over 13mm in size with the maximum size of 25mm. RCA was substituted for coarse aggregate over 13mm from 10% to 50% and crushed coarse aggregate under 13mm was also substituted for coarse aggregate over 13mm from 20% to 40%, respectively. Test results indicated that the replacement of RCA up to 20% resulted in an increase of fluidity and strength. It also caused a decrease in the drying shrinkage due to dense packing effect by achieving continuous grading of mixed aggregates. For practical application of RCA, when properly substituted, the use of RCA enabled the concrete to reduce water contents and sand to aggregate ratio in mixing design stage of the concrete. And, it can also enhance the compressive strength of the concrete.

Keywords : continuous grading, recycled coarse aggregates, crushed coarse aggregate, gap grading

## 1. 서론

### 1.1 연구배경 및 목적

콘크리트는 여타의 건설 재료보다 저렴한 가격에 큰 압축력, 우수한 내구성 등의 이점으로 건설공사에서 가장 많이 사용되어지고 있다.

그런데, 콘크리트를 구성하는 요소들 중 골재의 경우, 입자 특성은 굵고 가는 입자가 연속으로 분포되어 있을 때 이상적이다. 현재 우리나라 대부분의 실무에서는 투수콘크리트 등 특수콘크리트 제조용으로 5~13mm 입도의 골재가 석산에서 고가로 판매되어 지고 있다. 이에 레디믹스트 콘크리트(이하 레미콘)용 굵은 골재인 57골재의 경우 최대치수 25mm 골재에는 7번 골재인 5~13mm 크기의 굵은 골재가 없거나, 적은 상태로 반입되어 레미콘 제조에 이용되고 있는 실정이다.

따라서 5~13mm의 굵은 골재가 적게 혼합되어 제조된 콘크리트는 골재의 특정크기 입자가 부족한 갭그레이딩(Gap grading)으로 인해 잔골재율 및 단위수량의 증가로 이어지게 된다. 이는 결국 구조체 콘크리트의 건조수축균열의 증가, 강도 및 내구성 저하로 연결되어 이의 해결 방안이 필요한 실정이다.

이러한 레미콘 제조시 골재의 효율적 활용과 관련하여 최근 순환골재의 활용에 대한 관심 및 연구가 증가하고 있는데 [1,2], 순환골재용 모체 콘크리트의 경우 대부분 5~25mm

Received : September 30, 2016

Revision received : November 9, 2016

Accepted : December 8, 2016

\* Corresponding author : Han, Min-Cheol

[Tel: 82-43-229-8484, E-mail: twhan@cju.ac.kr]

©2017 The Korea Institute of Building Construction, All rights reserved.

굵은 골재를 이용하여 제조된 것이다. 이것을 다시 5~25mm 순환골재로 제조하게 되면 이론적으로는 가능할 수 있겠지만, 실제에는 골재 입자 주위에 다량의 모르타르가 부착되어 저 품질 골재가 됨에 실무 레미콘 사에서는 사용을 꺼려하고 있는 실정이다. 따라서 이와 같은 순환골재를 마모 등의 공정을 추가하여 5~13mm로 제조하게 되면 골재에 부착되어 있는 모르타르를 대부분 제거함으로써 양질의 순환골재 제조가 가능하다. 이를 기존 최대치수 25mm 굵은 골재에 치환하여 사용할 경우 소정의 품질확보는 물론 경제성 확보 차원에서도 효과가 클 것으로 기대된다.

한편, 이와 관련하여 순환골재를 구조체 콘크리트로 사용하기 위한 대부분의 연구들은 골재의 입자크기에 대한 구분 없이 일률적으로 부순 굵은 골재에 부분적으로 치환하는 방법을 보고한 연구들이 대부분이다[3,4,5]. 그러나 전술한 바와 같이 최근 레미콘업계에서의 특정크기 입자를 제외한 굵은 골재를 사용하는 문제와 순환골재를 사용함에 따른 경제성 추구 차원에서 입자크기를 선별한 순환 굵은 골재를 사용하는 방안에 대한 고찰이 필요한 상황이다.

필자는 이와 관련하여 실무에서 가장 많이 사용되는 강도 수준인 호칭강도 21~27MPa수준의 콘크리트를 대상으로 입도조정을 통해 5~13mm 순환 굵은 골재(RCA)를 부분 치환하는 연구를 진행한 바 있다[6]. 즉, 현재 시방서나 KS 규정상 순환골재는 설계기준강도 27MPa이하에서만 적용 가능하도록 규정하고 있는데[7], 연구결과 13mm이하 순환골재를 20%정도 사용할 경우 압축강도가 10%내외로 향상되는 것으로 나타났[6]. 따라서 이보다 높은 압축강도의 콘크리트에 13mm이하 순환골재를 부분 치환할 경우에도 강도 및 경제성 확보 차원에서 효과가 클 것으로 기대된다.

그러므로, 본 연구에서는 30MPa급 콘크리트를 대상으로 현행 레미콘 제조 시 5~13mm 굵은 골재의 부족에 의해 발생하는 갭그레이딩 문제를 5~13mm의 양호한 RCA로 부분 치환하여 이들이 콘크리트의 제반 물성에 미치는 영향을 실험적으로 분석하고자 한다. 이를 통해 궁극적으로는 향후 순환골재를 다양한 강도영역의 콘크리트 활용 극대화에 기여하고자 한다.

### 1.2 기존 연구동향 고찰

Laserna and Montero[8]는 4~10mm 순환골재와 10~20mm 부순 골재를 조합한 일련의 실험을 진행한 바 있다. 연구결과에 따르면 입자 크기별로 선별된 순환골재를

기존 굵은 골재에 치환할 경우 연속입도구현 및 순환골재 압중 등의 영향으로 부순 골재를 사용한 콘크리트 수준의 압축강도 향상을 기대할 수 있다고 보고하고 있다.

또한, Tan et al.[9]은 순환 굵은 골재 최대치수를 40mm 이하와 80mm 이하로 제조하여 부분 치환한 콘크리트를 사용한 연구를 통해 80mm 이하 순환 굵은 골재를 20%이하로 치환할 경우 보통 콘크리트와 유사한 강도발현특성을 보여 주고 있다고 보고한 바 있다.

Moreno et al.[10]은 10~14mm 크기의 순환 굵은 골재를 부분 치환한 콘크리트의 혼합성능 및 물성고찰을 통해 혼합속도 등을 조절하여 혼합과정에서의 순환 굵은 골재의 마모 및 쪼개짐을 조절할 수 있고 이를 통해 콘크리트의 물성을 개선할 수 있음을 보고하고 있다.

## 2. 실험계획 및 방법

### 2.1 실험계획

본 연구의 실험계획은 Table 1과 같고, 배합사항은 Table 2와 같다. 먼저, 콘크리트 배합사항으로 W/C는 40% 1수준에 대하여 5~13mm 굵은 골재 치환률 0%일 때, 목표 슬럼프 150±25mm, 목표 공기량 4.5±1.5%로 계획하였고, 기타의 실험 변수에도 동일한 조건을 적용하였다.

굵은 골재 변수는 13~25mm 부순 굵은 골재에 대하여 5~13mm 로서 양호한 부순 굵은 골재(CCA)를 먼저, 비고용으로 혼합율 0, 20, 40%와 연구대상 RCA로 치환률 0, 10, 20, 30, 40 및 50%의 9 수준을 실험계획 하였다.

실험사항으로 굳지 않은 콘크리트에서는 슬럼프, 공기량 및 단위용적 질량을 측정하였고, 경화 콘크리트에서는 압축축강도와 건조수축 길이변화율을 측정하는 것으로 계획하였다.

Table 1. Design of experiment

Items		Factors	
	W/C (%)	40	
Mixture	Target slump (mm)	1	150±25
	Target air contents (%)		4.5±1.5
	Replacement of coarse aggregates under 13mm(%)		0(Plain)
		8	Crushed 20, 40 Recycled 10, 20, 30 40, 50
Test	Fresh concrete	3	• Slump • Air contents • Unit volume weight
	Hardened concrete	2	• Compressive strength (3, 7, 28, 56 days) • Length change(1~180 days)

Table 2. Mixture proportions of concretes

Aggregates		W/C (%)	S/a (%)	AE	SP	Weight (kg/m <sup>3</sup> )				
Aggregate under 13mm	Replacement (%)					W	C	S	G1 <sup>1)</sup>	G2 <sup>2)</sup>
Plain	0					175	437	680	942	-
Crushed (CCA)	20					175	437	680	754	188
	40					175	437	680	565	377
Recycled (RCA)	10	40	43	0.01	0.24	175	437	680	848	94
	20					175	437	680	754	188
	30					175	437	680	659	282
	40					175	437	680	565	377
	50					175	437	680	471	471

1) Coarse aggregate over 13mm 2) Coarse aggregate under 13mm

## 2.2 사용재료

본 연구에 사용한 재료로서, 시멘트는 국내산 A사의 1종 보통 포틀랜드 시멘트를 사용하였는데, 그 물리적 성질은 Table 3과 같다. 사용골재는 충남 조치원산의 잔골재 및 부순 굵은 골재를 사용하였는데, 잔골재의 경우는 강모래와 부순 모래를 9:1의 비율로 혼합한 혼합 잔골재를, 굵은 골재로서 부순 골재는 최대 치수 25mm의 화강암 부순돌을 사용하였다. 순환 굵은 골재는 국내 D사 산을 사용하였는데, 각각의 물리적 성질은 Table 4와 같다. 한편, 25mm 부순 굵은 골재에 5~13mm RCA의 치환률을 변화시켜 얻은 각각의 입도곡선은 Figure 1에 제시되어 있다.

혼화제로서, 고성능 감수제는 국내산 B사의 폴리칼본산계, AE제는 국내 N사의 음이온계를 사용하였는데, 그 물리적 성질은 Table 5와 같다.

Table 3. Physical properties of cement

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

Table 4. Physical properties of aggregates

Aggregates	Density (g/cm <sup>3</sup> )	Fineness modulus	Absorption (%)	Passing 0.08mm sieve size(%)	Solid volume percentage(%)
River sand	2.51	2.32	0.46	0.30	-
Crushed stone (over 13mm)	2.59	6.55	0.58	0.40	55.9
Recycled coarse aggregate (under 13mm)	2.55	6.70	3.00	0.88	58.4

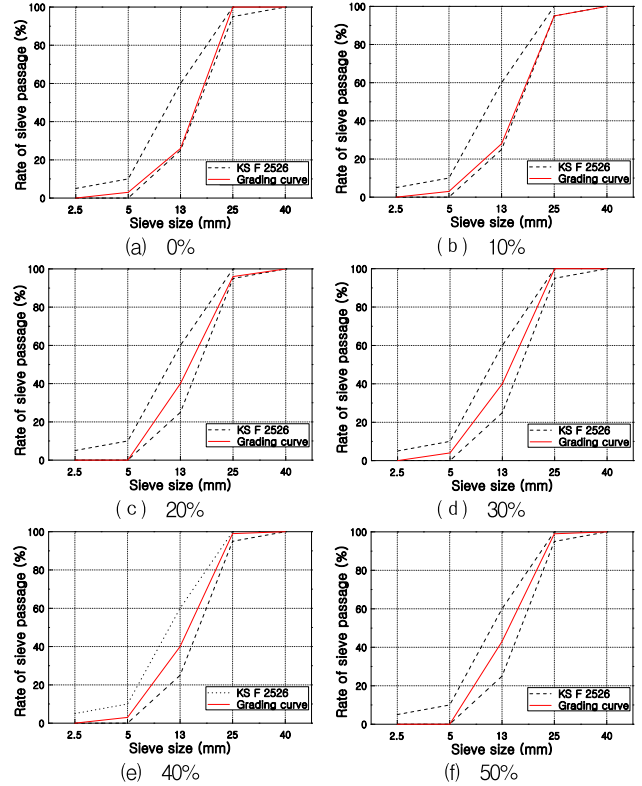


Figure 1. Grading curve of coarse aggregate in response to the replacement of coarse aggregate under 13mm

Table 5. Physical properties of chemical agents

Agents	Main ingredient	Appearance	Color	Density (g/cm <sup>3</sup> )
High range water reducing admixture	Polycarboxylate	Liquid	Dark brown	1.05
AE agent	Negativeion	Liquid	Light dark brown	1.04

## 2.3 실험 방법

본 연구의 실험방법으로 먼저, 콘크리트의 혼합은 트윈샷 포트 믹서를 이용하였다. 잔골재, 시멘트 및 굵은 골재를 투입하고, 저속(20rpm)으로 30초간 건비빔을 실시한 다음 물을 넣고 60초간 중속(30rpm)으로 비빔 후, 혼화제를 첨가하고 고속(40rpm)으로 90초간 비빔 하여 혼합을 완료한 후, 배출하는 것으로 하였다.

굳지않은 콘크리트의 시험으로 슬럼프는 KS F 2402, 공기량은 KS F 2421, 단위용적질량은 KS F 2409에 의거하여 측정하였다. 경화 콘크리트의 시험으로 압축강도는 KS F 2403에 의거하여 Ø100×200mm 원주형 공시체를 제작,

탈형하여 소요재령까지 수중 양생한 후, 3 MN UTM을 이용하여 KS F 2405에 의거 압축강도를 측정하였다. 건조수축 길이변화율은 7일 수중양생 후 기중양생방법으로 계획된 재령에서 데이터로거를 통해 KS F 2424 규정에 의거하여 측정하였다.

### 3. 실험결과 및 분석

#### 3.1 굳지않은 콘크리트의 특성

##### 3.1.1 슬럼프

Figure 2는 굵은 골재 종류별 5~13mm 굵은 골재 혼합률 변화에 따른 슬럼프 치를 나타낸 것이다. 전반적으로 5~13mm 굵은 골재의 혼합률이 증가할수록 슬럼프가 소폭 증가한 후 감소하는 경향을 나타내었다. 특히, 5~13mm 사용 배합의 경우는 기존 부순 굵은 골재만을 사용한 Plain 배합에 비해 높은 슬럼프를 나타내었고, 5~13mm CCA를 혼합한 배합보다 큰 슬럼프를 나타내었다. 이는 순환 굵은 골재 제조과정 중 마모에 의한 둥근 입형의 영향(입형 판정실적률 58.4%)과 5~13mm의 골재사용에 따른 골재간 최밀 충전 효과로 갭그레이딩이 개선된 연속 입도화에 기인RCA를 13~25mm 굵은 골재에 20%혼합하여 유동성이 향상된 것으로 판단된다.

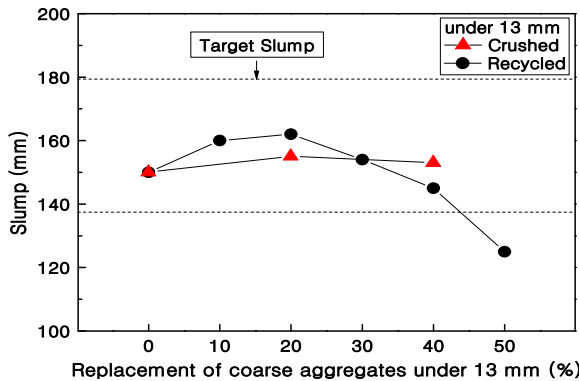


Figure 2. Slump variation of concrete with increase of RCA and CCA

이와 관련하여 Moini et al.[11]등은 골재의 최밀 충전 및 입도개선을 위하여 30%내외의 중간크기 골재(5~13mm)를 혼합하는 것을 권장하고 이는 콘크리트의 유동성 확보에도 매우 효과적임을 보고한 바 있다. 본 연구에서는

이와 유사한 경향을 보였으나, RCA를 사용함에 따라 비교적 높은 흡수율과 및 미립자등의 영향으로 혼합률 20%정도에서 가장 높은 슬럼프를 보여주고 있었다. 단, 40% 이상의 RCA 혼합률에서는 슬럼프가 크게 감소하는 경향을 나타내었는데, 이는 5~13mm 크기의 굵은 골재 비율이 높아짐에 따라 전반적으로 굵은 골재의 입경이 작아서 유동성이 감소한 것으로 판단된다.

##### 3.1.2 공기량

Figure 3은 5~13mm 굵은 골재 혼합률에 따른 공기량을 나타낸 것이다. 전반적으로, 5~13mm 굵은 골재 혼합률이 증가할수록 공기량은 약간 증가 후 감소하는 경향을 나타내었으나, 모두 목표 범위를 만족하는 것으로 나타났다. 즉, 5~13mm RCA 혼합률 10~20%에서는 Plain보다 공기량이 0.5% 미만으로 소폭 증가하는 것으로 나타났으나, 그 이상에서는 감소하는 것으로 나타났다.

이는 5~13mm RCA가 혼합 충전됨에 따라 콘크리트 내부에 골재가 연속입자로 적절하게 분포되어 큰 공극은 감소함과 동시에 AE 공기량은 증진된 것으로 판단된다.

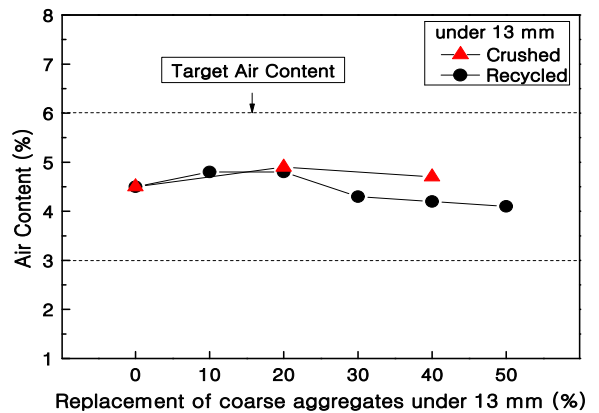


Figure 3. Air contents variation of concretes with increase of RCA and CCA

##### 3.1.3 단위용적질량

Figure 4는 5~13mm 굵은 골재 혼합률에 따른 단위용적질량을 나타낸 것이다. 단위용적질량은 전반적으로 공기량과 반비례한다는 기존의 연구결과가 있지만, 본 연구에서는 5~13mm RCA 혼합 배합에서 RCA 자체의 낮은 밀도에 기인하여 단위용적질량이 부순 골재의 경우보다 감소함을 알 수 있었다.

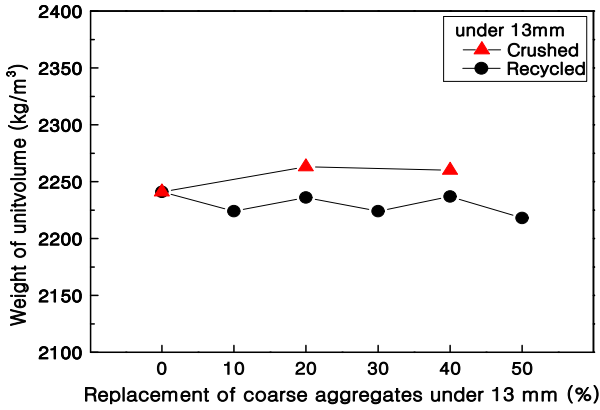


Figure 4. Unit volume weight of concretes with increase of RCA and CCA

### 3.2 경화 콘크리트의 특성

#### 3.2.1 압축강도

Figures 5~8은 5~13mm 굵은 골재 치환률에 따른 재령 별 압축강도를 나타낸 것이다. 먼저, 재령 3일 압축강도

의 경우 5~13mm 굵은 골재 치환률이 30%까지는 치환률이 증가함에 따라 소폭 증가하였으나, 그 이상에서는 오히려 감소하는 경향으로 나타났다. 특히, RCA 치환률 30%에서 22.4MPa로 가장 높은 압축강도를 나타내었다.

또한, 재령 7일과 28일 압축강도의 경우도 3일 강도와 유사한 경향을 나타내었다. 기존의 연구결과에 따르면, RCA의 치환률이 증가할수록 RCA자체의 저품질에 기인하여 압축강도가 저하하는 것으로 보고되고 있으나[1,2,3], 본 연구에서는 다른 경향을 보이는 것으로 나타났다. 이는 13~25mm 골재에 5~13mm 굵은 골재를 혼합함에 따라 골재간의 연속입자 분포를 이루게 함으로서, 갭그레이딩이 억제되어 콘크리트 내부를 밀실하게 채워 Plain보다 높게 나타난 것으로 사료된다. 이와 관련하여 Moini등은 콘크리트의 압축강도에 미치는 요인으로 골재의 최밀 충전 효과가 다른 요인인 공기량, 골재의 흡수율 등보다 더 강한 영향을 미친다고 보고 하였다. 특히, 이러한 경향은 초기재령에서 더욱 크게 나타나는데, 초기재령에서는 시멘트 매트릭스가 아직

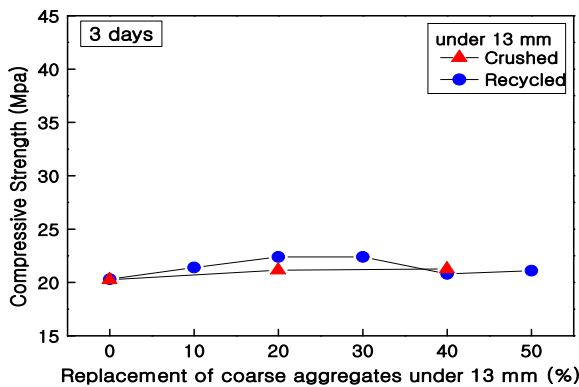


Figure 5. Strength development of the concrete with the increase of RCA and CCA (3 days)

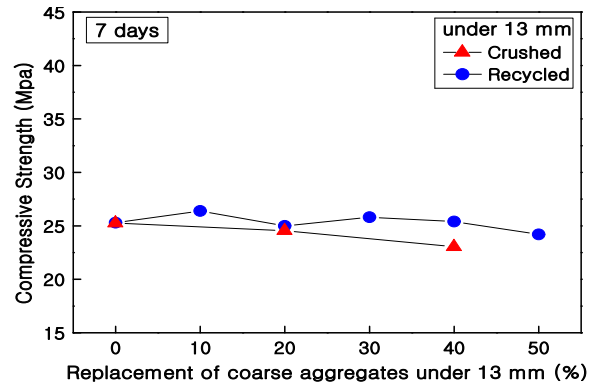


Figure 6. Strength development of concretes with the increase of RCA and CCA (7 days)

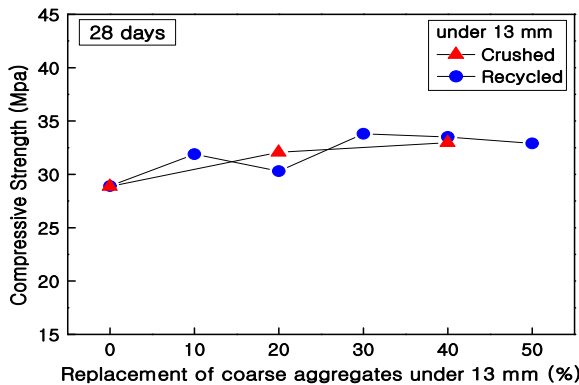


Figure 7. Strength development of concretes with the increase of RCA and CCA (28 days)

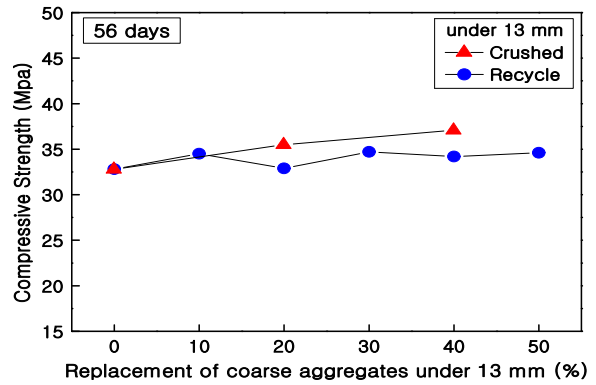


Figure 8. Strength development of the concrete with the increase of RCA and CCA (56 days)

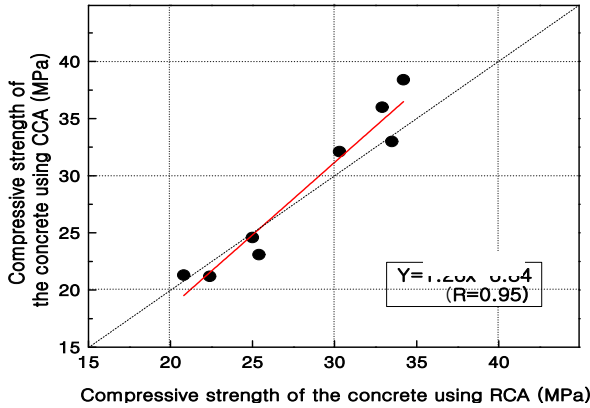


Figure 9. Comparison of compressive strength of the concrete using between RCA and CCA

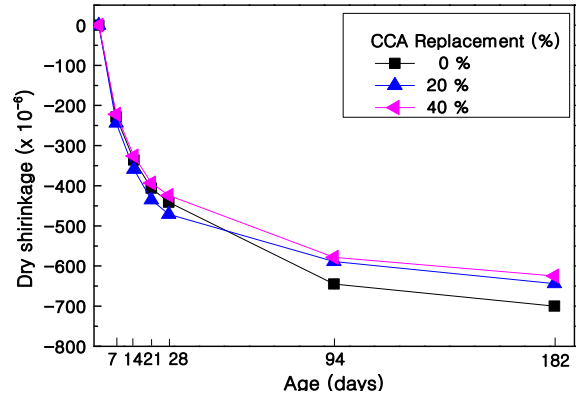


Figure 10. Evolution of the drying shrinkage of the concrete depending on CCA replacement with age

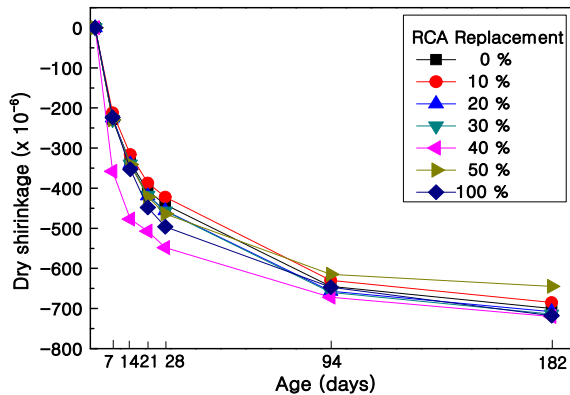


Figure 11. Evolution of the drying shrinkage of the concrete depending on RCA replacement with age

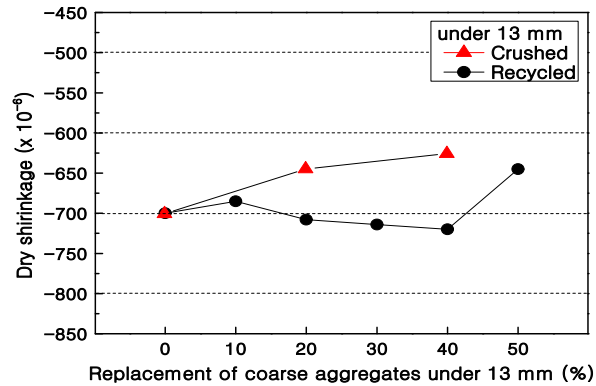


Figure 12. Comparison of the drying shrinkage of the concrete with increase of RCA and CCA

낮은 수준의 강도를 발현하기 때문에 골재의 하중전달 능력이 콘크리트의 전체적인 압축강도를 지배하는 것으로 알려져 있다[11]. 본 연구의 결과도 이러한 원인에 의한 것으로 판단된다.

Figure 9는 5~13mm 굵은 골재 혼합의 경우 CCA와 RCA의 압축강도 간 상관관계를 나타낸 것이다. 25MPa 이하의 압축강도에서는 RCA 배합의 압축강도가 약 7% 정도 증가하는 경향을 나타내었으나, 그 이상의 압축강도에서는 CCA를 사용한 경우에서 큰 경향을 나타내었다. 이는 폐 콘크리트를 파쇄하여 생산하는 RCA의 강도 특성과 RCA 표면에 부착되어 있는 모르타르에 의한 골재와 페이스트간의 부착강도 특성으로 인해 저강도에서는 유리하나, 강도가 커질수록 불리해 짐에 기인한 것으로 사료된다.

### 3.2.2 건조수축 길이변화율

Figures 10~12는 굵은 골재 종류 및 혼합을 별 재령경과

에 따른 건조수축 길이변화율과 180일에서 길이변화율을 나타낸 것이다.

5~13mm 굵은 골재 혼합효과는 골재간의 연속 입도화에 의한 콘크리트 내부의 최밀 충전으로 인해 5~13mm 굵은 골재를 혼합하지 않은 배합보다 건조수축이 감소하는 것으로 나타났다. 치환률별로는 CCA의 경우 치환률 40% 까지 계속 건조수축이 감소하는 반면, RCA의 경우는 RCA의 낮은 탄성특성 및 부착모르타르 등에 의한 증가할 요인과 연속입도분포에 의한 최밀 충전으로 감소할 요인이 공존하여 크게 변화가 없는 것으로 분석된다.

그러나, 5~13mm RCA 혼합사용의 경우는 앞서 유동성 분석에서 20% 혼합률의 경우 슬럼프치가 크게 나타남에, 동일 슬럼프 조건에서는 콘크리트 배합설계상 단위수량을 저감할 수 있을 것으로 판단된다. 따라서, 5~13mm RCA의 혼합은 단위수량 저감에 의한 강도 증진 및 건조수축 저감 효과 까지도 기대할 수 있을 것으로 사료된다.



#### 4. 결 론

본 연구에서는 13mm이하 RCA를 13~25mm 부순 굵은 골재에 혼합사용하여 갭그레이딩 문제를 해결하고 이를 사용한 30MPa급 콘크리트의 제반물성을 고찰하였는데, 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) 슬럼프는 13mm이하 RCA를 13~25mm 부순 굵은 골재에 20% 혼합사용시 가장 높게 나타나고 있으나, 혼합률이 증가할수록 감소하는 경향을 나타냈다.
- 2) 공기량은 13mm 이하 굵은 골재 혼합률이 증가할수록 혼합률 20%까지는 증가하다가 그 이후는 감소하는 경향을 보였다.
- 3) 압축강도는 13mm이하 굵은 골재를 혼합률이 증가할수록 28일 압축강도가 증가하였는데, 특히, 13mm RCA 혼합률 30%에서 가장 높게 나타나, 30MPa급 콘크리트에서도 13mm 이하 RCA의 부분치환이 압축강도향상에 기여함을 알 수 있었다.
- 4) 건조수축의 경우는 13mm이하 RCA를 혼합하는 경우 연속입도분포에 의해 감소할 요인과 순환골재에 의해 증가할 요인이 공존하여 혼합에 따른 수축량 차이가 크지 않은 것으로 나타났다.

이상을 종합하면, 현재 국내 레미콘에 주로 사용되는 골재 번호 57의 굵은 골재(5~25mm)는 7번 입자(5~13mm)를 사용하지 않는 경우가 많아 골재 갭그레이딩으로 인한 품질 저하가 문제 시 되고 있다. 이를 13mm 이하 RCA로 30% 정도 혼합하여 30MPa급 콘크리트에 사용할 경우 골재 연속 입도 구현에 의한 유동성 향상은 물론 레미콘 배합상 단위수량과 잔골재율의 감소로 압축강도 향상 및 건조수축 저감 등을 기대할 수 있을 것으로 판단된다.

#### 요 약

본 연구는 국내 레디믹스트 콘크리트 제조 시 57골재(5~25mm)의 경우 7번 입자(5~13mm)가 갭그레이딩되어 문제 시 되는 것을 13mm 이하 RCA로 보충·해결하고자 하는 것이다. 실험 결과, 기존 레디믹스트 콘크리트용 57골재에 13mm 이하 RCA를 30%정도 혼합하여 30MPa급 콘크리트에 사용할 경우 연속입도 구현에 따른 유동성의 향상, 배합

상 단위수량과 잔골재율의 감소가 가능해 압축강도를 향상시키며 건조수축을 저감시킬 수 있을 것으로 판단된다.

**키워드** : 연속입도, 순환 굵은 골재, 부순 굵은 골재, 갭 그레이딩

#### References

1. Choi DS, Moon SH, Jo KH, A study on analysis of Korea's construction wastes recycle condition through on-site research, Journal of the architectural Institute of Korea, 2006 Apr;24(4):133-40.
2. Park WJ, A Study on the relationship between compressive strength and modulus of elasticity of recycled aggregate concrete, Journal of the Architectural Institute of Korea, 2012 Jun;28(1):109-16.
3. Sim JS, Park CW, Park SJ, Kim YJ, Characterization of compressive strength and elastic modulus of recycled aggregate concrete with respect to replacement ratios, Journal of the Korean Society of Civil Engineers, 2006 Jan;26(1A):213-8.
4. Na CS, Lee HJ, Nam JS, Kwon SK, Kim GY, Kim MH, Study on the shrinkage properties of concrete using recycled fine aggregate, Proceedings of the Korea Concrete Institute, 2008 Nov;20(2):681-4.
5. Lee SH, Shim JW, Enactment provision of recycled aggregate concrete, Magazine of the Korea Concrete Institute, 2010 Jan;22(1):33-5.
6. Han MC, Kang BH, Effect of the replacement of recycled coarse aggregates under 13mm on engineering properties of the concrete, Journal of Recycled Construction Resources, 2015 Mar;3(1):43-9.
7. Korea Concrete Institute, Concrete Standard Specification, 7th ed, Seoul: Korea Concrete Institute; 2009, 155 p.
8. Laserna S, Montero J, Influence of natural aggregates typology on recycled aggregate concrete strength properties, Construction and Building Materials, 2016 July;115:78-86.
9. Tan L, JianZhuang X, Cimian Z, Zheng Z, Experimental study on mechanical behaviours of concrete with large size recycled coarse aggregate, Construction and Building Materials, 2016 Sep;120:321-8.
10. Moreno J, Cazalico B, Cothenet A, Artoni R, Roquet N, Recycled concrete aggregate attrition during mixing New Concrete, Construction and Building Materials, 2016 Jul;116:299-309.
11. Moini M, Vivian I, Amirjanov A, Sobolev K, The optimization of aggregate blends for sustainable low cement concrete, Construction and Building Materials, 2015 Sep;93:627-34.