

# 설계기준강도별 순환 잔골재 혼합비율에 따른 순환골재 콘크리트 특성에 관한 연구

## A Study on the Characteristics of Recycled Aggregate Concrete According to the Mixing Ratio of Recycled Fine Aggregate at Specific Concrete Strengths

윤상혁<sup>1</sup> · 이세현<sup>2\*</sup>Sang-Hyuck Yoon<sup>1</sup> · Sea-Hyun Lee<sup>2\*</sup>

(Received October 4, 2022 / Revised November 28, 2022 / Accepted November 28, 2022)

In this study, the characteristics of recycled aggregate concrete according to the mixing ratio of recycled fine aggregate were analyzed by design strength to explore its use in the production of ready-mixed concrete. The results show that, depending on the ratio of recycled aggregate, the compressive strength is similar to that of normal concrete and does not deteriorate. Therefore, it is possible to achieve a strength similar to the target design strength. Furthermore, if the ratio of recycled fine aggregate for concrete is up to 25 % of the total aggregate amount (50 % of the total fine aggregate), slump does not cause problems. Our findings show that the higher the design standard strength, the greater the amount of powder, and management of slump reduction, unit quantity, and performance system is necessary. The obtained results show that recycled aggregate can be used for the production of ready-mixed concrete after adjusting its mixing ratio and concrete mix proportions.

**키워드** : 순환골재 콘크리트, 순환 잔골재, 콘크리트 특성**Keywords** : Recycled aggregate concrete, Recycled fine aggregate, Concrete properties

### 1. 서론

천연골재 등 천연자원을 채취함과 동시에 환경파괴 및 환경부하로 가지고 올 수 있으며, 정부에서는 골재 수급 안정화 대책을 위해 순환골재 사용촉진을 하고 있다.

'20년 기준 국내 건설폐기물은 총 8,644 만톤/년이며, 전년(8,070 만톤/년) 대비 7.1 %로 증가하였으며, 불연성이 88.9 %(7,681 만톤/년)로 비중이 높다. 성상별로는 불연성 중 건설폐기류가 98.9 %(7,569 만톤/년)로 대부분 차지하고 있으며, 건설폐기류 중 폐콘크리트가 71.0 %(5,394 만톤/년)로 가장 높게 발생하였다(Ministry of Environment 2021). 이 중 폐콘크리트를 파쇄 및 가공하여 생산되는 순환골재를 사용한 연구가 활발히 진행되고

있으며(Kim 2017), 순환골재 활용촉진을 위한 대안으로 콘크리트 재료인 천연골재 대체로 순환골재를 사용함과 동시에 재활용율을 높일 수 있을 뿐만 아니라 천연골재로 제조되는 보통콘크리트 사용량을 감소시킬 수 있다(Ministry of Environment 2017).

이에 건설폐기물을 순환골재로 사용함으로써 유효 자원을 재활용하여 천연자원채취를 감소시킬 수 있을 뿐만 아니라 재활용율을 높일 수 있다. 또한, 녹색건축물 조성지원법 제15조 제1항 및 동법 시행령 제11조 제1항 제5조에 따라 재활용 자재의 사용비율에 따른 건축기준의 완화적용 기준을 정하고 있으며, 연면적 500m<sup>2</sup> 이상으로 건축물의 주요구조부 골조공사에 콘크리트용 순환골재를 사용할 경우, 용적률을 5~15 %까지 완화(Ministry of Land, Infrastructure and Transport 2022) 받을 수 있는 있다. 인센티브

\* Corresponding author E-mail: shlee@kict.re.kr

<sup>1</sup>한국건설기술연구원 건축연구본부 연구원 (Korea Institute of Civil engineering and Building Technology, Gyeonggi-do, 10223, Korea)<sup>2</sup>한국건설기술연구원 건축연구본부 선임연구위원 (Korea Institute of Civil engineering and Building Technology, Gyeonggi-do, 10223, Korea)

제도에도 불구하고 대부분 도로공사용으로만 사용되고 있는 실정이며(Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology 2020), 콘크리트용 순환골재는 품질신뢰성 문제로 사용기피 현상이 나타나고 있다(Ministry of Environment 2012). 이는 순환골재 표면에 부착된 모르타르가 골재 보다 높은 흡수율과 파쇄과정 중 내부 미세균열 발생 등으로 인하여 콘크리트로 제조 시 슬럼프 저하, 강도 저하, 내구성 저하 등이 원인으로 지적되어 저조한 실정이다(Kim 2017).

콘크리트용 순환골재의 주로 사용대상은 레미콘사이며, 활용 비율이 저조한 이유는 순환골재의 품질이 균질하지 못한 것으로 인하여 콘크리트 품질에 악영향을 끼쳐 레미콘사에서 순환골재 콘크리트 제조를 회피하고 있다(Yoon and Lee 2021). 따라서, 본 연구에서는 설계기준강도별 콘크리트용 순환 잔골재 혼합비율에 따른 순환골재 콘크리트 특성을 분석하여 레미콘 제조용 순환골재 콘크리트로 활용이 가능한 기초적인 자료를 제시하고자 한다.

## 2. 실험계획 및 방법

### 2.1 실험계획

순환골재 콘크리트 품질은 국가건설기준표준시방서 KCS 14 20 21(2022) 순환골재 콘크리트 기준에서 설계기준강도 27 MPa이하로 관리되고 있으며, 주로 KCS 14 20 10(2022) 보통콘크리트 시방규정을 적용하고 있다. 본 연구에서는 설계기준강도 21, 24 및 27 MPa 기준으로 하였으며, 이에 시방기준의 목표슬럼프 150 ± 25(125~175)mm, 공기량 4.5 ± 1.5(3.0~6.0) %로 설정하여 실시하였다. 콘크리트용 순환 잔골재 사용비율은 `18년 재활용 건축자재의 활용기준(Ministry of Land, Infrastructure and Transport, Notice No. 522 2018)의 재활용 건축자재 사용량의 용적비율 15, 20, 25 %로 선정하고 총 골재량 대비 순환 잔골재 혼합비율로 적용하였으며, 혼합비율별로 배합을 선정하였다. 총 잔골재 대비 순

Table 1. Experimental level and measurement

Concrete type	Specific concrete strength (MPa)	Utilization rate of recycled fine aggregate compared to total aggregate amount (%)	Utilization rate of recycled fine aggregate compared to the total coarse aggregate amount (%)	Age by metric		
				Slump (min)	Air content (min)	Compressive strength (day)
Normal concrete	21, 24, 27	0, 15, 20, 25	0, 30, 40, 50	0, 30, 60	0, 30, 60	3, 7, 28, 91
Recycled aggregate concrete						

환 잔골재 혼합비율(순환 잔골재 : 부순 잔골재의 혼합비율)은 질량비 0:100 %, 30:70 %, 40:60 %, 50:50 % 등 4수준으로 제조하였다. 순환골재 콘크리트의 물리적 특성을 분석하기 위해서 굳지 않은 콘크리트 시험항목은 경시변화에 따라 슬럼프 및 공기량으로 측정하였으며, 굳은 콘크리트는 재령 3, 7, 28, 91일 기준으로 압축강도를 측정하였다. 또한, 순환골재 콘크리트 내구성은 길이변화 30, 90일 동안 측정하였으며, 동결융해는 300 Cycle 동안 측정하였다. 실험수준 및 측정항목은 Table 1과 같다.

## 2.2 사용재료 및 배합

### 2.2.1 시멘트

순환골재 콘크리트 시험체 제작을 위해 KS L 5201 포틀랜드 시멘트에서 규정하고 있는 밀도 3.15 g/cm<sup>3</sup>, 분말도 3,602 cm<sup>2</sup>/g 인 1종 포틀랜드 시멘트를 사용하였다.

Table 2. Physical properties of cement powder

Density (g/cm <sup>3</sup> )	Powder (cm <sup>2</sup> /g)	Setting time (Hour)		Compressive strength (MPa)		
		Initial set	Final set	3 day	7 day	28 day
3.15	3,602	4.5	7.15	23.0	29.3	43.8

### 2.2.2 고로슬래그 미분말

공극 구조의 수밀화를 위하여 분말도 4,650 cm<sup>2</sup>/g, 강열감량이 0.9 %로 구성 성분 이외에 이물질의 함량이 거의 없는 고품질의 재료를 사용하였으며, 물리적 성질은 Table 3과 같다.

### 2.2.3 플라이 애시

KS L 5405 플라이 애시 2종에 적합한 혼화재료를 사용하였으며, 분말도 3,307 cm<sup>2</sup>/g, 강열감량이 3.5 %로 구성된 플라이 애시를 사용하였다.

Table 3. Physical properties of blast furnace slag fine powder

Density (g/cm <sup>3</sup> )	Powder (cm <sup>2</sup> /g)	Alkalinity	Chemical composition (%)			
			MgO	SO <sub>3</sub>	Cl <sup>-</sup>	Ig-loss
2.9	4,650	1.93	6.6	1.7	0.003	0.9

Table 4. Physical properties of aggregate

Aggregate types	Density (g/cm <sup>3</sup> )	Absorption rate (%)
Natural coarse aggregate	2.62	1.67
Natural fine aggregate	2.60	1.74
Recycled fine aggregate	2.32	3.65

### 2.2.4 골재

본 연구에 사용된 잔골재는 세척사를 사용하였으며, 순환골재 품질기준 및 KS F 2527 콘크리트용 골재 기준에 적합한 순환 잔골재를 사용하였으며, H사에서 생산된 순환 잔골재(5 mm 이하)와 경기도 용인시 기흥구에서 생산된 부순 잔골재(5 mm 이하)를 사용하였다. 천연골재 및 순환골재 함수상태는 표건상태로 실험을 진행하였다.

### 2.2.5 혼화제

본 실험에 사용된 혼화제는 폴리카본산계 AE 감수제를 사용하였으며, 혼화제 특성은 Table 5와 같다.

Table 5. Characteristics of Superplasticizer

Type	Shape	Color	pH	Specific gravity	Solid quantity (%)
Polycarboxylate	Liquid	Dark brown	4.6	1.105	20

### 2.2.6 배합

본 연구의 순환골재 콘크리트 배합은 Table 6에 나타났다. 본 연구의 설계기준강도는 21, 24 및 27 MPa로 총 골재량 대비 순환 잔골재 혼합비율 15, 20, 25 %에 따라 총 분체량은 330~370 kg/m<sup>3</sup>을 적용하였으며, 물/결합재비는 국가건설기준표준시방서 KCS 14 20 10(2022) 보통콘크리트 기준인 60 % 이하 규정범위 내에서 50 %로 선정하였다. 설계기준강도별로 단위재료량은 물, 천연굵은골재, 분체, 혼화제 등은 고정시킨 배합으로 설정 후 실험을 실시하였다. 순환 잔골재를 사용한 배합은 Table 6과 같다.

## 2.3 실험방법

### 2.3.1 슬럼프 및 공기량

슬럼프 실험은 KS F 2402 포틀랜드 시멘트 콘크리트의 슬럼프 시험방법에 준하여 실시하였으며, 국가건설기준표준시방서 KCS 14 20 10 보통콘크리트 기준인 목표슬럼프는 150 ± 25(125~175) mm로 선정하였다. 공기량 실험은 KS F 2421 압력법에 의한 굳지 않은 콘크리트의 공기량 시험 방법에 준하여 실시하였으며, 국가건설기준표준시방서 KCS 14 20 10 보통콘크리트 기준인 목표공기량은 4.5 ± 1.5(3.0~6.0) %로 선정하였다. 또한, 슬럼프 및 공기량의 경시변화를 0, 30, 60분으로 측정하였다.

### 2.3.2 압축강도

굳은 콘크리트 측정항목으로 KS F 2405 콘크리트의 압축강도 시험 방법에 준하여 재령 3, 7, 28, 91일 압축강도를 측정하였다.

### 2.3.3 길이변화 및 동결융해

동결융해 실험은 KS F 2456 급속 동결 융해에 대한 콘크리트의 저항 시험방법 중 수중 급속 동결융해 시험방법(A 방법)에 준하여 300 Cycle 동안 측정하였으며, 길이변화는 KS F 2424 모르타르 및 콘크리트의 길이 변화 시험방법 중 다이얼 게이지 방법에 준하여 재령 30, 90일 동안 측정하였다.

## 3. 실험결과 및 분석

### 3.1 슬럼프

설계기준강도별 콘크리트용 순환 잔골재 혼합비율에 따른 슬럼프는 Fig. 1~3과 같이 나타났다. 21 MPa에서는 보통콘크리트의 경우, 145~170 mm로 나타났으며, 순환 잔골재 혼합비율 15 % 일 때 145~175 mm, 20 % 일 때 135~170 mm, 25 % 일 때 135~165 mm로 나타났다. 설계기준강도 24 MPa에서는 보통콘크리트의 경우, 165~175 mm로 나타났으며, 순환 잔골재 혼합비율 15 % 일 때 125~170 mm, 20 % 일 때 135~170 mm, 25 % 일 때 130~165 mm로 나타났다. 설계기준강도 27 MPa에서는 보통콘크리트의 경우, 160~175 mm로 나타났으며, 순환 잔골재 혼합비율 15 % 일 때 125~170 mm, 20 % 일 때 135~175 mm, 25 % 일 때 130~175 mm로 나타났다. 설계기준강도별로 0, 30, 60분 경시변화에 따른 슬럼프는 국가건설기준표준시방서 KCS 14 20 10(2022) 보통콘크리트 기준 150 ± 25(125~175) mm에 모두 만족하는 것으로 나타

Table 6. Recycled aggregate concrete mix

Concrete type	Specific concrete strength (MPa)	Utilization rate of recycled fine aggregate compared to total aggregate amount (%)	Mass mixing (kg/m <sup>3</sup> )								Intumescent admixture (%)	Air entrainment (%)
			Water	Natural coarse aggregate	Natural fine aggregate	Recycled fine aggregate	Total powder weight	Powder				
								Cement	Blast furnace slag fine powder	Fly ash		
Normal concrete	21	0	160	886	890	0	330	248	49	33	0.8	5
Recycled aggregate concrete		15			613	277						
Recycled aggregate concrete		20			525	365						
Recycled aggregate concrete	25	436	454									
Normal concrete	24	0	160	865	870	0	350	263	53	35	0.8	5
Recycled aggregate concrete		15			600	270						
Recycled aggregate concrete		20			514	357						
Recycled aggregate concrete	25	426	444									
Normal concrete	27	0	167	853	848	0	370	278	56	37	0.8	5
Recycled aggregate concrete		15			585	263						
Recycled aggregate concrete		20			500	348						
Recycled aggregate concrete	25	415	432									

났다.

순환 잔골재 혼합비율 증가에 따라 설계기준강도 21 MPa에서는 슬럼프 경시변화 30분의 경우, 초기 0분의 슬럼프 대비 5~30 mm로 감소하였으며, 설계기준강도 24 MPa에서는 0~20 mm로 감소하였다. 27 MPa에서는 5~35 mm로 감소하는 경향으로 나타났다. 슬럼프 경시변화 60분의 경우, 초기 0분의 슬럼프 대비 21 MPa에서는 20~35 mm, 24 MPa 일 때 10~45 mm, 27 MPa 일 때 15~35 mm로 감소하였다.

설계기준강도별로 경시변화 30, 60분에서 보통콘크리트 대비 순환골재 혼합비율에 따라 슬럼프의 저감은 높게 나타났으며, 순환골재 콘크리트는 순환골재가 흡수성이 높아 콘크리트의 워커빌리티가 저하된다고 보고된 바 있다(Ministry of Land, Infrastructure and Transport 2021). 이와 유사한 결과를 보였으며, 설계기준강도별 슬럼프 저감은 설계기준강도가 높아질수록 분체량의 증가와 순환골재 표면에 존재하는 흡수율이 높은 시멘트 페이스트의 공극에 포함된 수분이 단위수량을 증가시켜 발생 것으로 판단된다(Kim et al, 2013; Lee 2020).

콘크리트용 순환 잔골재 혼합비율은 총골재량 대비 25 %(총잔골재 대비 50 %)까지 적용 시 슬럼프에 대한 문제는 없을 것으로 판단되나, 슬럼프 저감에 대한 관리가 필요할 것으로 판단된다.

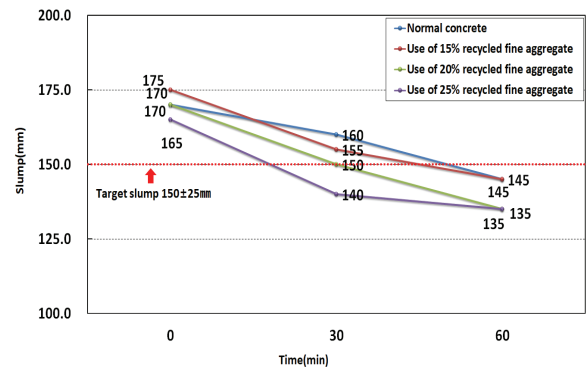


Fig. 1. Result of slump (21 MPa)

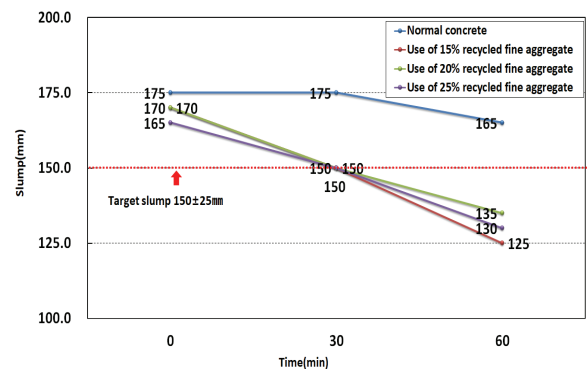


Fig. 2. Result of slump (24 MPa)

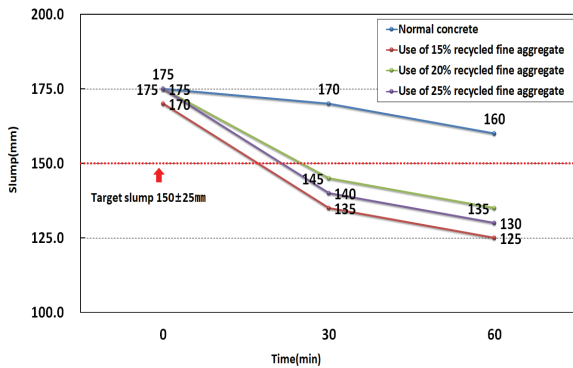


Fig. 3. Result of slump (27 MPa)

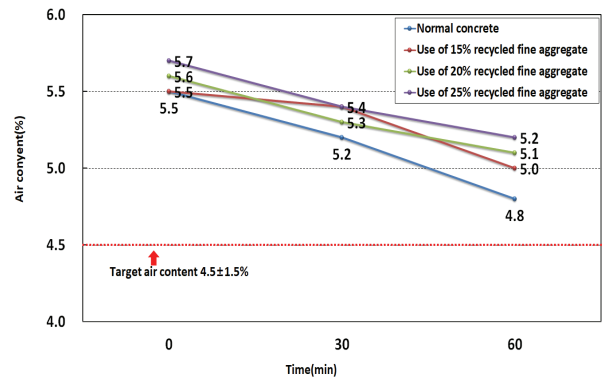


Fig. 4. Result of air content (21 MPa)

### 3.2 공기량

설계기준강도별 콘크리트용 순환 잔골재 혼합비율에 따른 공기량은 Fig. 4~6과 같이 나타났다. 21 MPa에서는 보통콘크리트의 경우, 4.8~5.5 %로 나타났으며, 순환 잔골재 혼합비율 15 % 일 때 5.0~5.5 %, 20 % 일 때 5.1~5.6 %, 25 % 일 때 5.2~ 5.7 %로 나타났다.

설계기준강도 24 MPa에서는 보통콘크리트의 경우, 3.3~3.7 %로 나타났으며, 순환 잔골재 혼합비율 15 % 일 때 4.6~5.4 %, 20 % 일 때 4.0~5.5 %, 25 % 일 때 4.3~4.8 %로 나타났다. 설계기준강도 27 MPa에서는 보통콘크리트의 경우, 4.2~5.5 %로 나타났으며, 순환 잔골재 혼합비율 15 % 일 때 4.1~4.8 %, 20 % 일 때 4.2~5.2 %, 25 % 일 때 4.0~5.0로 나타났다.

설계기준강도 21 MPa에서는 순환 잔골재 혼합비율 증가에 따라 공기량 경시변화 30분의 경우, 초기 0분의 공기량 대비 0.1~0.5 %로 감소하는 것으로 나타났으며, 24 MPa 일 때 0.2~0.4 %, 27 MPa 일 때 0.4~0.5 %로 감소하는 경향을 보였다. 설계기준강도 21 MPa에서는 순환 잔골재 혼합비율 증가에 따라 공기량 경시변화 60분의 경우, 초기 0분의 공기량 대비 0.4~0.8 %로 감소하는 것으로 나타났으며, 24 MPa 일 때 0.4~1.5 %, 27 MPa 일 때 0.7~1.3 %로 감소하였다.

순환골재를 콘크리트용 골재로 적용 시 단위수량 및 AE제량에 대한 관리가 필요할 것으로 판단된다(Chu 2018). 또한, KCS 14 20 10(2022) 보통콘크리트 기준인  $4.5 \pm 1.5$  %에 만족하는 것으로 나타났다.

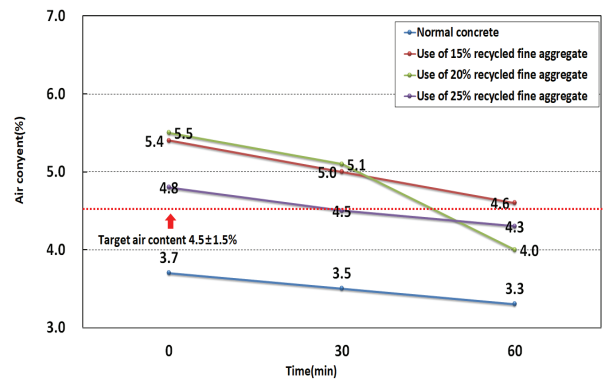


Fig. 5. Result of air content (24 MPa)

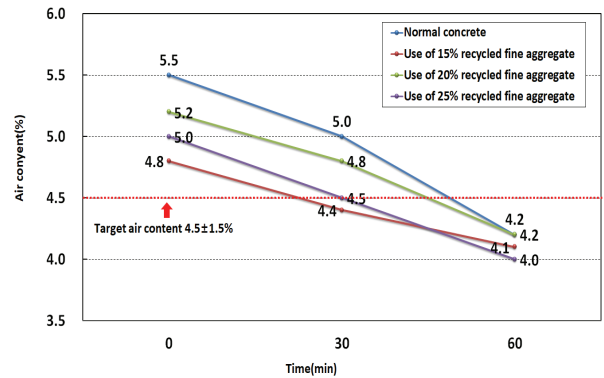


Fig. 6. Result of air content (27 MPa)

### 3.3 압축강도

설계기준강도별 콘크리트용 순환 잔골재 혼합비율에 따른 재령 3~91일 압축강도는 Fig. 7~9와 같이 나타났다. 순환 잔골재 혼합비율 증가에 따라 설계기준강도 21 MPa의 경우, 설계기준강도 대비 재령 3일은 44~59 %, 7일 일 때 70~82 %, 28일 일 때 118~137 %, 91일 일 때 146~183 %로 나타났으며, 설계기준강

도 24 MPa의 경우, 설계기준강도 대비 재령 3일은 59~68 %, 7일 일 때 85~89 %, 28일 일 때 130~134 %, 91일 일 때 161~182 %로 나타났다. 또한, 설계기준강도 27 MPa의 경우, 설계기준강도 대비 재령 3일은 55~63 %, 7일 일 때 81~88 %, 28일 일 때 130~134 %, 91일 일 때 147~165 %로 나타나 모든 설계기준강도 별로 재령일 경과에 따라 압축강도 발현은 증가하는 것으로 나타났다.

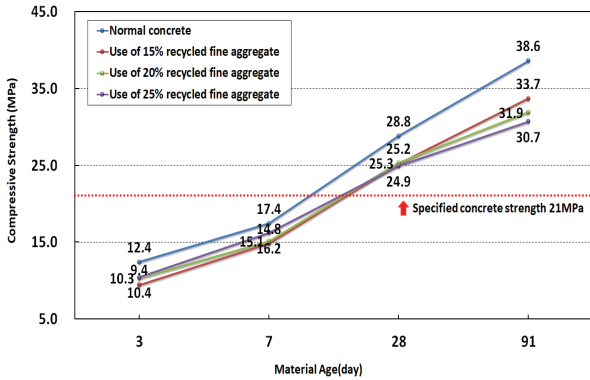


Fig. 7. Result of compressive strength (21 MPa)

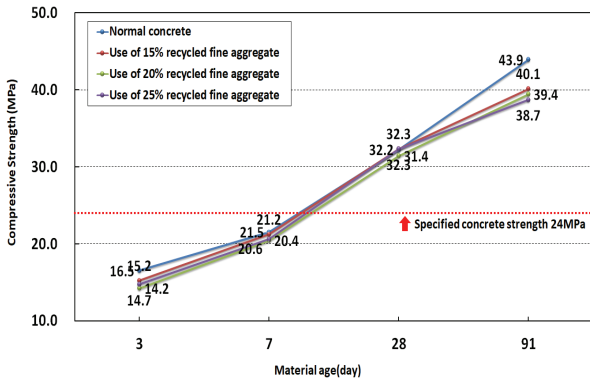


Fig. 8. Result of compressive strength (24 MPa)

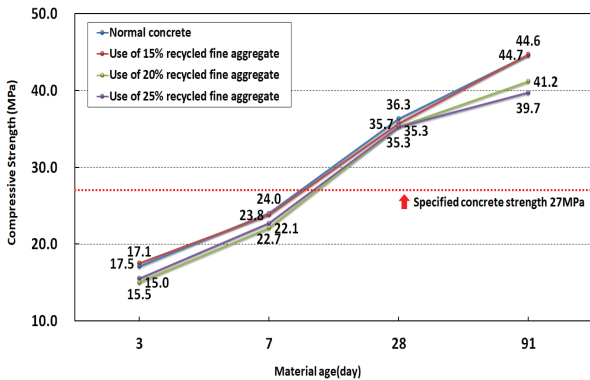


Fig. 9. Result of compressive strength (27 MPa)

순환골재 품질기준(Ministry of Land, Infrastructure and Transport 2021) 및 국가건설기준표준시방서 KCS 14 20 21(2022)에서 15 %까지 사용 권고하고 있다. 설계기준강도별 천연잔골재만을 사용한 보통콘크리트 대비 순환 잔골재 혼합비율에 따라 유사하거나 다소 낮은 강도 발현을 보였으며, 순환 잔골재 혼합비율이 증가할수록 압축강도는 감소하는 경향을 보였다. 이는 순환골재 표면에 부착되어 있는 1 mm이하의 미분말에 의한 것으로 판단된다. 고품질 순환골재를 생산하는 경우, 40 %정도의 순환골재 미분말이 발생된다고 보고된 바 있으며, 순환 잔골재 혼합비율이 높아질수록 순환골재 표면에 부착되어 있는 미분말이 배합시 물과 수화 반응을 통한 수산화칼슘 생성과 고로슬래그의 잠재수경성 반응을 인한 판단된다(Kim 2014; Korea Agency for Infrastructure Technology Advancement 2019). KCS 14 20 10(2022) 보통콘크리트 압축강도에 대한 콘크리트의 압축강도 판정기준인 재령 28일의 설계기준강도 21, 24, 27 MPa를 만족하였으며, 콘크리트용 순환 골재 혼합비율은 총골재량 대비 25 % (총 잔골재 대비 50 %)까지 레미콘으로 사용이 가능할 것으로 판단된다(Yu 2011).

### 3.4 길이변화

설계기준강도별 콘크리트용 순환 잔골재 혼합비율에 따른 길이변화는 Fig. 10~12와 같이 나타났다. 재령 30, 90일 동안 설계기준강도 21 MPa에서는 보통콘크리트의 경우,  $-0.065\sim-0.069\%$ 로 나타났으며, 순환 잔골재 15 % 일 때  $-0.073\sim-0.079\%$ , 20 % 일 때  $-0.064\sim-0.070\%$ , 25 % 일 때  $-0.062\sim-0.068\%$ 로 나타났다. 설계기준강도 24 MPa에서는 보통콘크리트의 경우,  $-0.063\sim-0.068\%$ 로 나타났으며, 순환 잔골재 혼합비율 15 % 일 때  $-0.070\sim-0.070\%$ , 20 % 일 때  $-0.062\sim-0.069\%$ , 25 % 일 때  $-0.066\sim-0.068\%$ 로 나타났다. 설계기준강도 27 MPa에서는 보통콘크리트의 경우,  $-0.060\sim-0.063\%$ 로 나타났으며, 순환 잔골재 혼합비율 15 % 일 때  $-0.066\sim-0.070\%$ , 20 % 일 때  $-0.062\sim-0.068\%$ , 25 % 일 때  $-0.065\sim-0.069\%$ 로 나타났다. 순환 잔골재 혼합비율이 15~25 %로 증가할수록 길이변화는 감소되는 경향으로 나타났으며, 이는 순환골재가 천연골재 보다 밀도, 단위용적질량 등이 낮고 흡수율이 높아 길이변화 감소에 영향을 준 것으로 기인된다(Park 2010).

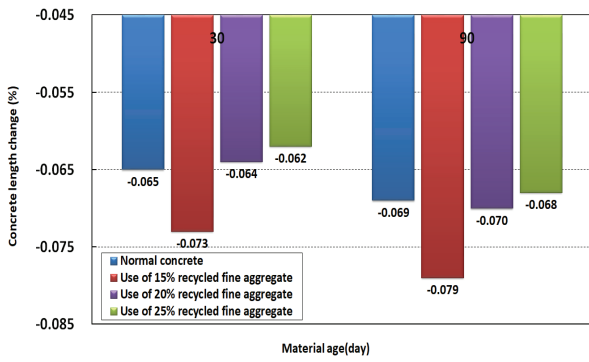


Fig. 10. Result of length change (21 MPa)

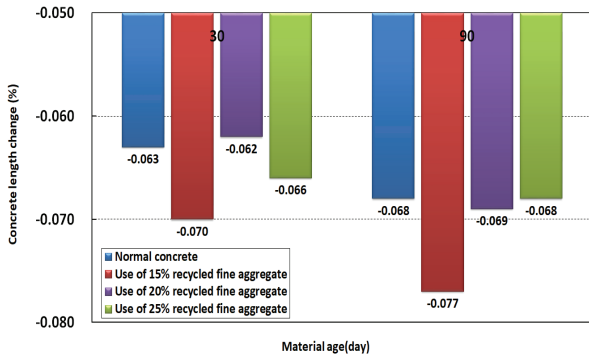


Fig. 11. Result of length change (24 MPa)

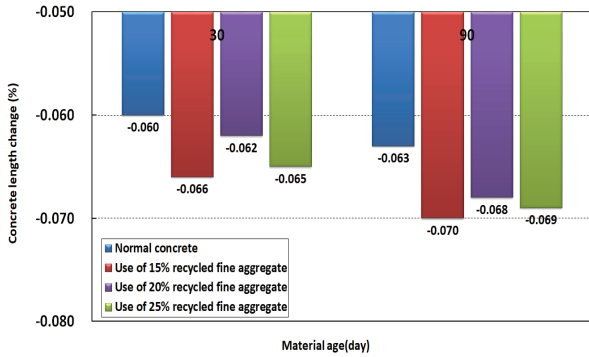


Fig. 12. Result of length change (27 MPa)

### 3.5 동결융해

설계기준강도별 콘크리트용 순환 잔골재 혼합비율에 따른 동결 융해는 Fig. 13~15와 같이 나타났다. 300 Cycle 동안 설계기준강도 21 MPa에서는 보통콘크리트의 경우, 92 %로 나타났으며, 순환 잔골재 15 % 일 때 88 %, 20 % 일 때 89 %, 25 % 일 때 90 %로 나타났다. 설계기준강도 24 MPa에서는 보통콘크리트의 경우, 91 %로 나타났으며, 순환 잔골재 혼합비율 15 % 일 때 91 %, 20 % 일 때 90 %, 25 % 일 때 90 %로 나타났다. 설계기준강도 27 MPa에서는 보통콘

크리트의 경우, 93 %로 나타났으며, 순환 잔골재 혼합비율 15 % 일 때 91 %, 20 % 일 때 91 %, 25 % 일 때 92 %로 나타났다. 또한, 설계기준강도 21 MPa에서는 순환골재 혼합비율이 증가할수록 감소한다는 기존연구(Lee 2020)와 달리 순환 잔골재 혼합비율이 증가할수록 동결융해 저항성은 다소 높게 나타났다. 이는 순환골재에 부착된 모르타르에 있는 연행기포가 콘크리트 내의 기포간격계수를 감소시켜 동결융해 작용으로 인한 수분 팽창과 이완시 완충작용을 통해 내구성 지수가 상승한 것으로 판단된다(Kim et al. 2020).

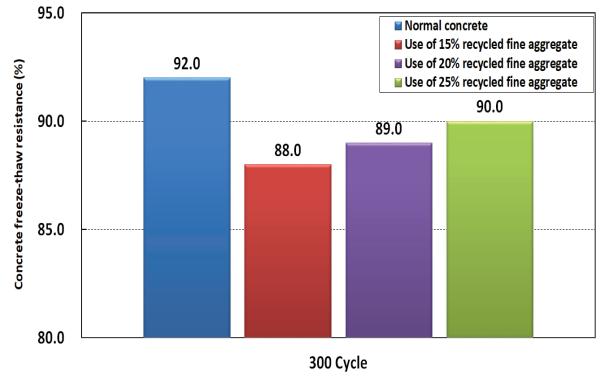


Fig. 13. Result of freeze-thaw resistance (21 MPa)

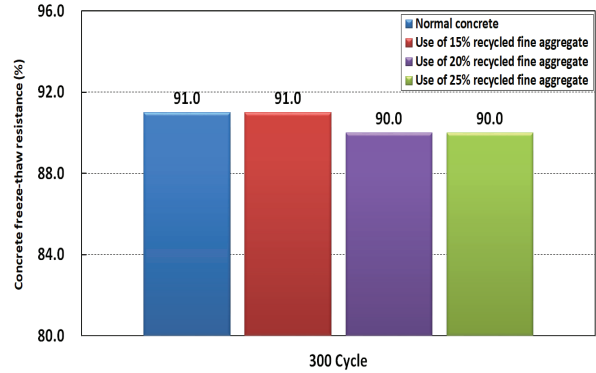


Fig. 14. Result of freeze-thaw resistance (24 MPa)

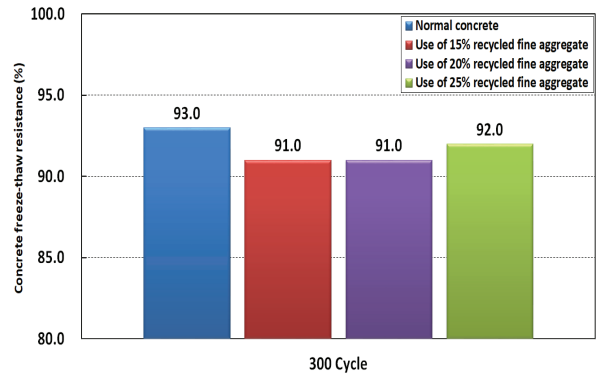


Fig. 15. Result of freeze-thaw resistance (27 MPa)

순환 잔골재 혼합비율이 15~25 %로 증가할수록 동결융해 저항성은 보통콘크리트와 유사한 경향으로 나타나 레미콘으로 사용이 가능할 것으로 판단된다.

#### 4. 결론

본 연구에서는 재활용 건축자재 활용기준의 총골재량 대비 순환골재 혼합비율 15, 20, 25 %로 적용 하였으며, 설계기준강도 21, 24, 27 MPa로 콘크리트용 순환 잔골재 혼합비율에 따른 순환골재 콘크리트의 슬럼프, 공기량, 압축강도, 길이변화, 동결융해 등의 물리적 특성을 분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 순환 잔골재를 혼합비율에 따른 슬럼프는 모든 설계기준강도에 서 슬럼프 목표기준인 150 ± 25 mm에 만족하는 결과를 나타났 으며, 0~60분의 경시변화에 따라 슬럼프 저감율은 낮아지는 것으로 나타났다. 설계기준강도별 공기량은 목표기준인 4.5 ± 1.5 %에 만족하는 결과를 나타났으며, 0~60분의 경시변화에 따라 슬럼프 저감율은 낮아지는 것으로 나타났으나, 국가건설기 준표준시방서 KCS 14 20 10 보통콘크리트 기준을 만족하여 순 환골재 적용 시 슬럼프에 대한 문제는 없는 것으로 판단된다.
2. 순환골재 콘크리트의 압축강도는 설계기준강도별 보통콘크리 트 대비 순환 잔골재 혼합비율에 따라 유사하거나 다소 낮은 강도 발현을 보였으며, 순환 잔골재 혼합비율이 증가할수록 압 축강도는 감소하는 경향을 보였다. 재령일이 증가할수록 강도 저하는 발생하지 않았으며, 설계기준강도 대비 강도 발현이 가 능할 것으로 판단된다.
3. 순환골재 품질기준(Ministry of Land, Infrastructure and Transport 2021) 및 국가건설기준표준시방서 KCS 14 20 21(2022)에서 15 %까 지 사용 권고하고 있다. 콘크리트용 순환 잔골재 혼합비율은 총골재 량 대비 25 %(총잔골재 대비 50 %)까지 적용 시 슬럼프에 대한 문제는 없을 것으로 판단된다.
4. 콘크리트용 순환 잔골재 혼합비율은 총골재량 대비 25 %(총잔 골재 대비 50 %)까지 적용 시 슬럼프에 대한 문제는 없을 것으 로 판단되나, 설계기준강도에 따른 분체량과 단위수량 및 공기 연행제량에 대한 관리가 필요할 것으로 판단된다.
5. 순환 잔골재 15 %, 20 %, 25 %로 혼합비율에 따른 순환골재 콘크리트의 길이변화 및 동결융해에 대한 내구특성은 보통콘크 리트와 유사한 경향으로 나타나 콘크리트용으로 사용이 가능할 것으로 판단된다.

이상의 결과를 종합해 볼 때, 순환골재 혼합비율, 배합의 조절 등을 통해 레미콘 제조용으로 순환골재 사용이 가능할 것으로 판 단되며, 추후 순환골재 콘크리트의 활성화를 위해 지속적인 연구 가 필요할 것으로 판단된다.

#### Conflicts of interest

None.

#### 감사의 글

본 연구는 한국건설기술연구원 민간수탁사업(과제코드: 2021 0202-001) 지원에 의해 수행되었습니다. 이에 감사드립니다.

#### References

Bae, J.H. (2008). A Study on using Recycled Aggregate as Concrete Aggregates, Master's Thesis, Incheon University, Korea [in Korean].

Baek, D.H. (2008). Quality of Recycled Coarse Aggregate due to Crusher Types and Its Effect on the Properties of Concrete, Master's Thesis, Cheongju University, Korea [in Korean].

Chu, Y.K. (2018). A Study on the High Performance Concrete Incorporating Recycled Aggregates, Master's Thesis, Kunsan National University, Korea [in Korean].

KCS 14 20 10 (2022). General Concrete, Korea Construction Standards Center, Gyeonggido [in Korean].

KCS 14 20 21 (2022). Recycled Aggregate Concrete, Korea Construction Standards Center, Gyeonggido [in Korean].

Kim, H.S. (2011). A Study on the Quality Improvement of Recycled Fine Aggregate using Neutralization and Low Speed Wet Abraser, Ph. D Thesis, Kongju National University, Korea [in Korean].

Kim, J.H., Lee, S.H., Kim, S.H., Jeon, C.S., Choi, W.Y. (2020). Quality improvement and field application of recycled fine aggregate for activation of recycled aggregate concrete, Magazine of RCR, **15(1)**, 8-15 [in Korean].

Kim, K.H., Shin, M.S., Kong, Y.S., Cha, S.W. (2013). Effect of fly ash on rheology and strength of recycled aggregate concrete, Journal of the Korea Concrete Institute, **25(2)**, 241-250 [in Korean].

Kim, O.K. (2014). A Comparative Study of Compressive Strength of



- High Strength Concrete by Replacement Ratio of Recycled Coarse Aggregate, Master's Thesis, Hanbat National University, Korea [in Korean].
- Kim, S.J. (2017), A Study on the Crushing Properties of Recycled Aggregate from Waste Concrete, Ph. D Thesis, Kyungpook National University, Korea [in Korean].
- Korea Agency for Infrastructure Technology Advancement (2018), A Study on the Development of Remodeling Technology for Safety and Performance Improvement of Aged Housing in Low Rise Residential Areas, Gyeonggi-do [in Korean].
- Korea Agency for Infrastructure Technology Advancement (2019), Development of Manufacture Technology for High Quality Recycled Aggregate and Application of Concrete, Gyeonggi-do [in Korean].
- Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology (2020), Recycled Aggregate Quality Certification Annual Report,
- Lee, S.H. (2020), Study on the physical properties of recycled aggregate concrete with variation of mixing rate and cement content, Journal of Korea Society of Waste Management, **37(2)**, 109–116 [in Korean].
- Ministry of Environment (2012), Construction Waste Recycling Countries Assurance System Evaluation and Improvement, Sejong [in Korean].
- Ministry of Environment (2017), Classification Method of Recycled Aggregates and Development of Concrete Secondary Products for the Massive Use in Recycled Aggregates for Concrete, Sejong [in Korean].
- Ministry of Environment (2021), Occurrence and Status of Nationwide Waste, Sejong [in Korean].
- Ministry of Land, Infrastructure and Transport (2021), Recycled Aggregate Quality Standard, Sejong [in Korean].
- Ministry of Land, Infrastructure and Transport (2022), Enforcement Decree of the Green Building Creation Support Act Article 11 Buildings Subject to Revitalization of Green Building Construction and Mitigation Standards, Sejong [in Korean].
- Ministry of Land, Infrastructure and Transport, Notice No. 522 (2018), Standards for Utilization of Recycled Building Materials, Sejong [in Korean].
- Park, J.H. (2014), Mechanical Strength And Durability Tests on Concrete Mixes Using Recycled Aggregates, Master's Thesis, Hongik University, Korea [in Korean].
- Park, Y.J. (2010), An Experimental Study on Surface Absorption Control Typed Recycled Aggregates Used High Performance Concrete Properties, Master's Thesis, Tongmyong University, Korea [in Korean].
- Yoon, S.H., Lee, S.H. (2021), A study on the characteristics of recycled aggregate concrete according to the ratio of recycled coarse aggregate at specific concrete strengths, Journal of Korea Society of Waste Management, **38(3)**, 273–279, [in Korean].
- Yu, H.Y. (2011), A Study on the Mechanical Properties of Recycled Aggregate Concrete Using Fly Ash, Master's Thesis, Kongju National University, Korea [in Korean].

### 설계기준강도별 순환 잔골재 혼합비율에 따른 순환골재 콘크리트 특성에 관한 연구

순환 잔골재 혼합비율에 따른 압축강도는 설계기준강도별 보통콘크리트 대비 순환 잔골재 혼합비율에 따라 유사하거나 다소 낮은 강도 발현을 보였으며, 순환 잔골재 혼합비율이 증가할수록 압축강도는 감소하는 경향을 보였다. 재령일이 증가할수록 강도저하는 발생하지 않았으며, 설계기준강도 대비 강도 발현이 가능할 것으로 판단된다. 순환 잔골재 15 %, 20 %, 25 %로 혼합비율에 따른 순환골재 콘크리트의 길이변화 및 동결융해에 대한 내구특성은 보통콘크리트와 유사한 경향으로 나타났다. 콘크리트용 순환 잔골재의 비율은 총 골재량의 25 %(총잔골재의 50 %)까지 적용하면 슬럼프 및 공기량에 문제가 없을 것으로 판단되며, 설계기준강도에 따른 분체량과 단위수량 및 공기연행제량에 대한 관리가 필요할 것으로 판단된다.