

설계기준 강도별 순환골재 콘크리트의 탄산화 특성

Carbonation Properties of Recycled Aggregate Concrete by Specified Concrete Strength

이 준^{1*} · 이봉춘¹ · 조영근² · 박광민² · 정상화²Jun Lee^{1*} · Bong-Chun Lee¹ · Young-Keun Cho² · Kwang-Min Park² · Sang-Hwa Jung²

(Received March 9, 2017 / Revised March 16, 2017 / Accepted March 16, 2017)

This paper presents mechanical properties and carbonation behavior of the recycled aggregate concretes(RAC) in which natural aggregate was replaced by recycled coarse aggregate and fine aggregate by specified concrete strength levels(21, 35, 50MPa). A total of 18 RAC were produced and classified into six series, each of which included three mixes designed with three specified concrete strength levels of 21MPa, 35MPa and 50MPa and three recycled aggregate replacement ratios of 0, 50 and 100%. Physical and mechanical properties of RAC were tested for slump test, compressive strength, and carbonation depth. The test results indicated that the slump of RAC could be improved or same by recycled coarse aggregate replacement ratios, when compared with natural aggregate. But slump of RAC was decreased as the recycled fine aggregate replacement ratios increase. Also, the test results showed that the compressive strength was decreased as the recycled aggregate replacement ratios increased and it had a conspicuous tendency to decrease when the content of the recycled aggregate exceeded 50%. Furthermore, the result indicated that the measured carbonation depth increases by 40% with the increase of the recycled aggregate replacement. In the case of the concrete having low level compressive strength, the increase of carbonation depth tends to be higher when using the RCA. However, the trend of carbonation resistivity in high level compressive strength concrete is similar to that obtained in natural aggregate concrete. Therefore, an advance on the admixture application and mix ratio control are required to improve the carbonation resistivity when using the recycled aggregate in large scale.

키워드 : 건설폐기물, 순환골재, 콘크리트, 설계기준강도, 탄산화**Keywords :** Construction waste, Recycled aggregate, Concrete, Specified concrete strength, Carbonation

1. 서론

최근 건설분야에서도 환경보존과 자원 절약 등이 중요한 이슈로 부각되고 있으며, 건설공사의 수행과정에서 필연적으로 발생하는 폐기물의 체계적인 관리시스템 구축과 재활용 방안 확대에 대한 관심이 고조되고 있는 실정이다.

국내의 경우 주거환경 개선을 위한 도시 재개발사업 및 기존 건설구조물의 노후화로 인하여 막대한 양의 건설폐기물이 발생하고 있다. 2015년 환경부 통계자료에 의하면 폐콘크리트의 발생량은 연간 45,424천톤으로서 전체 건설폐기물 발생량 중 62.8%를

차지하고 있어 가장 큰 비중을 차지하고 있으며, 매년 발생비율이 증가하고 있는 추세이다(Ministry of Environment, 2015).

현재 국내에서 발생하는 폐콘크리트에 대한 재활용률은 99%로서 매우 높은 것으로 집계되고 있으나 폐콘크리트 순환골재의 용도별 활용분야를 살펴보면 성토 및 복토용 52.0%, 도로기층용 및 보조기층용 32.3%로서 대부분 단순 활용이 주를 이루고 있다. 하지만 최근 국내 SOC분야에 대한 투자 감소로 도로포장용 골재수요가 감소됨에 따라 순환골재의 재활용률 또한 감소될 것으로 예측되고 있어 순환골재의 실질 재활용률 제고 및 고부가가치 용도로의 확대를 위해서는 콘크리트용 골재로의 재활용 기술개발이 요

* Corresponding author E-mail: lj4923@kcl.re.kr

¹한국건설생활환경시험연구원 대전-충남지원(Daejeon & Chungnam Branch, Korea Conformity Laboratories, Daejeon, 34113, Korea)²한국건설생활환경시험연구원 첨단건설재료센터(High-tech Construction Materials Center, Korea Conformity Laboratories, Seoul, 08503, Korea)

구되고 있다(Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology 2014).

순환골재를 콘크리트용 재료로 활용하기 위해서는 사용 골재로서의 경제성 확보와 더불어 안정적인 콘크리트의 품질을 확보할 수 있어야 한다. 순환골재 콘크리트는 일반 천연골재를 사용한 경우에 비하여 성능이 저하되는 것으로 보고되고 있으며 이는 순환골재 표면에 부착된 시멘트 페이스트에 의해 상대적으로 낮은 밀도 및 높은 흡수율에 기인한 것으로 알려져 있다. 그리고 순환골재 콘크리트에는 기존 골재 표면에 부착된 시멘트 페이스트와 골재사이의 ITZ(Interfacial Transition Zone) 및 순환골재와 신규 페이스트와의 ITZ가 동시 형성되어 콘크리트의 강도 및 내구성을 저하시키는 원인으로 작용하게 된다(Kong, D. et al. 2010; Montgomery et al. 1996; M. Barra de Oliveira et al. 1996; Poon et al. 2007; Kwan et al. 2012; Xiao et al. 2005; Berndt et al. 2009).

국내의 경우 순환골재를 사용한 콘크리트의 품질저하 우려에 따라 콘크리트 표준시방서 및 KS F 2573 「콘크리트용 순환골재」에서는 순환골재의 사용량을 천연골재의 30%이하로 사용량을 권고하고 있다. 하지만 최근 순환골재 중간처리 시스템의 고도화에 따라 골재의 품질이 점차 개선되고 있으나 이를 활용한 순환골재 콘크리트의 내구성에 대한 실험·실증적인 자료는 아직 부족한 상황이다.

이에 본 연구에서는 순환골재의 사용량 증대를 위한 기초자료 제시의 일환으로 현재 국내에서 생산되고 있는 순환골재의 혼입조건(종류, 혼입률) 및 설계기준강도별에 따른 콘크리트의 물리·역학적 특성과 축진탄산화 특성을 분석하였다.

2. 실험계획 및 방법

2.1 실험요인 및 배합

설계기준강도별 순환골재를 사용한 콘크리트의 탄산화 특성을 검토하기 위하여 콘크리트의 압축강도 수준과 순환 굵은골재 및 순환 잔골재의 혼입률을 주요 실험인자로 선정하여 평가를 수행하였다.

콘크리트의 기본 물성으로서 슬럼프, 공기량, 재령 28일 압축강도를 측정하였으며 탄산화 특성 분석을 위해서는 온도 $20 \pm 2^\circ\text{C}$, 상대습도 $60 \pm 5\%$, CO_2 농도 $5 \pm 0.2\%$ 조건에서 축진탄산화를 실시한 후 탄산화 깊이를 측정하였다. 실험수준으로서 설계기준 압축강도를 3수준(21, 35 및 50MPa)으로 선정하고 순환 굵은골재 및 순환 잔골재의 치환율을 천연골재 용적대비 0, 50 및 100%로

Table 1. Mix proportion of recycled aggregate concrete

Items	W/C (%)	S/a (%)	Unit weight(kg/m ³)						
			W	C	G	RG	S	RS	Ad.
fck21-Plain	60	47	180	300	947	-	812	-	-
fck21-RG50	60	47	180	300	474	450	812	-	-
fck21-RG100	60	47	180	300	-	900	812	-	-
fck21-RS50	60	47	180	300	951	-	406	382	-
fck21-RS100	60	47	180	300	951	-	-	763	-
fck35-Plain	38	46	183	482	878	-	723	-	3.37
fck35-RG50	38	46	183	482	439	417	723	-	3.37
fck35-RG100	38	46	183	482	-	835	723	-	3.37
fck35-RS50	38	46	183	482	878	-	362	340	3.37
fck35-RS100	38	46	183	482	878	-	-	680	3.37
fck50-Plain	28	38	170	607	965	-	572	-	5.04
fck50-RG50	28	38	170	607	482	459	572	-	5.04
fck50-RG100	28	38	170	607	-	917	572	-	5.04
fck50-RS50	28	38	170	607	965	-	286	269	5.04
fck50-RS100	28	38	170	607	965	-	-	537	5.04

W/C: water/cement ratio, S/a: sand/aggregate ratio, W: water, C: cement, RG: recycled gravel, RS: recycled sand Ad.:admixture

Table 2. Properties of cement

Chemical composition(%)						Fineness (cm ² /g)	Density (g/cm ³)
SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃		
21.1	6.7	2.9	61.7	3.1	0.84	3,459	3.14

선정하였다. 본 연구의 콘크리트 제조를 위한 배합은 Table 1에 나타난 것과 같다.

2.2 사용재료

2.2.1 시멘트

본 연구에 사용된 시멘트는 국내 A사의 보통 포틀랜드 시멘트를 사용하였으며, 사용된 시멘트의 물리·화학적 특성은 Table 2와 같다.

2.2.2 천연 골재

본 연구에 사용된 천연 굵은골재는 콘크리트 제품 제조용으로 사용되는 것으로 밀도 2.63g/cm³, 흡수율 0.8%인 부순골재를 사용하였다. 또한 잔골재는 밀도 2.50g/cm³인 모래를 사용하였다.

2.2.3 순환골재

순환 굵은골재 및 순환 잔골재는 국내 H사에서 폐콘크리트를

Table 3. Properties of aggregate

Properties	G	S	RG	RS
Gmax(mm)	13	5	13	5
Density(g/cm ³)	2.63	2.50	2.54	2.39
Water absorption(%)	0.8	1.46	2.87	5.06

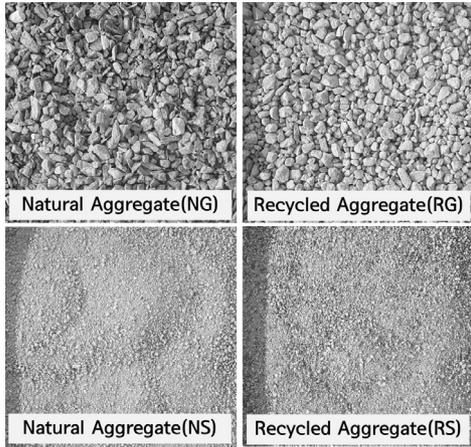


Fig. 1. Natural and recycled aggregate

중간처리하여 생산되는 것으로서, 골재의 물리적 특성은 Table 3에 나타난 것과 같고, Fig. 1은 본 연구에 사용된 천연 및 순환골재의 형상을 나타낸 것이다.

2.2.4 혼화제

혼화제는 시멘트 분산작용과 미세 공기의 연행으로 단위수량 감소, Workability 및 내구성을 개선시키는 혼화제로서 국내 D사의 폴리카보산계 고성능 AE감수제를 사용하였으며, 특성은 Table 4에 나타난 것과 같다.

2.3 실험방법

2.3.1 슬럼프 및 공기량

설계기준강도별 순환골재 콘크리트의 굳지 않은 특성을 분석하기 위하여 슬럼프 시험은 KS F 2402 「콘크리트의 슬럼프 시험방법」에 준하여 측정하였으며 공기량 시험은 KS F 2421 「압력법에 의한 굳지 않은 콘크리트의 공기량 시험방법」에 준하여 측정하였다. Fig. 2는 콘크리트의 슬럼프 및 공기량 측정 전경이다.

2.3.2 압축강도

압축강도 시험을 위한 공시체는 KS F 2403 「콘크리트의 강도

Table 4. Properties of admixture

Superplasticizer	
Type	PC
Color	dark brown
Density(g/cm ³)	1.21±0.05
pH	7



Fig. 2. Slump and air contents test

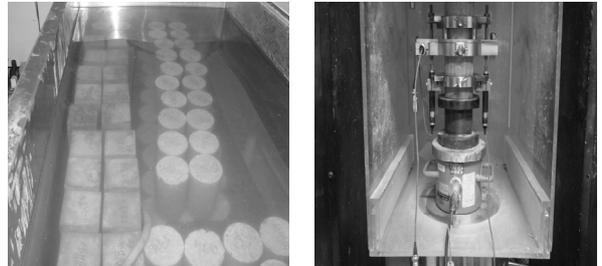


Fig. 3. Curing & compressive strength test



Fig. 4. Accelerated carbonation test

시험용 공시체 제작 방법」에 준하여 Φ100×200mm의 원주형 공시체를 제작하였다.

또한 시험편의 압축강도 측정은 제작된 공시체를 재령 28일까지 수중양생(20±2℃)을 실시한 후 KS F 2405 「콘크리트의 압축강도 시험방법」에 준하여 최대용량 1000kN의 만능 재료 시험기(Universal Testing Machine: UTM)를 이용하여 측정하였으며, 압축강도의 산출은 배합당 5개 시험편의 압축강도를 측정 후 평균값을 사용하였다. Fig. 3은 압축강도 측정을 위한 시험편의 양생 및 강도시험 전경을 나타낸 것이다.

2.3.3 촉진 탄산화

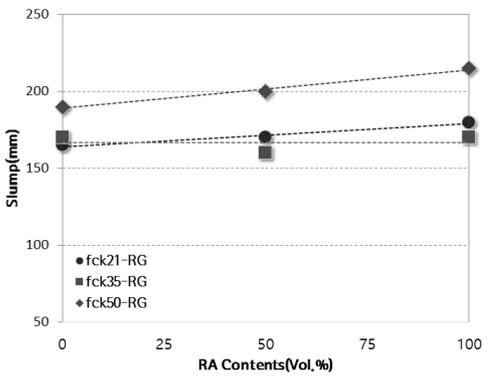
설계기준강도 및 순환골재 혼입조건별 콘크리트의 탄산화 특성을 평가하기 위하여 KS F 2403에 준하여 100×100×400mm 각주형 공시체를 제작하였으며, 촉진 탄산화 시험은 Fig. 4에 나타난 것과 같이 KS F 2584에 준하여 20±2℃, 60±5%, 이산화탄소 5±0.2%로 유지되는 챔버에서 탄산화를 촉진시켰다. 또한 각각의 재령별로 공시체를 절단하여 페놀프탈레인 용액에 의한 발색법을 이용하여 탄산화 침투 깊이를 측정하였다.

3. 실험결과 및 분석

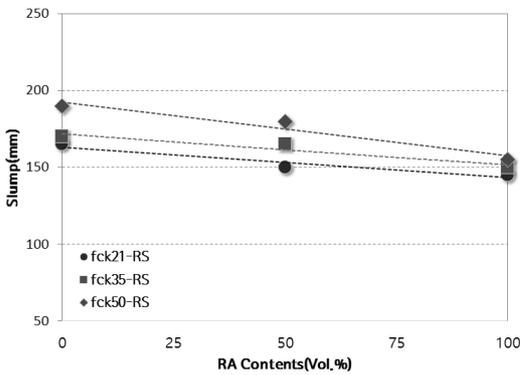
3.1 슬럼프 및 공기량

순환골재 종류 및 대체율에 따른 콘크리트의 슬럼프 실험 결과는 Fig. 5에 나타난 것과 같다. Poon et al.(2007) 등의 기존 연구 결과에서는 순환골재의 대체 혼입률이 증가할수록 골재 표면의 구재 모르타르가 콘크리트의 워커빌리티를 저하시키는 것으로 보고하고 있다. 본 연구결과 순환 잔골재를 혼입한 경우에는 기존의 연구

결과와 동일한 경향성을 나타내 전 강도수준에서 순환 잔골재의 혼입률이 증가함에 따라 슬럼프가 최대 18.4%까지 감소되는 특성을 나타냈으나, 순환 굵은골재를 사용한 경우는 천연골재만을 사용한 경우와 동등한 유동성을 나타내거나 슬럼프가 최대 13.2%까지 증가되는 결과를 나타냈다. 이러한 결과는 최근 고품질 순환골재 생산을 위하여 다단계의 파쇄공정과 모르타르 최소화를 위한 마쇄장치들이 도입되는 등 생산설비가 고도화되고 있으며 본 연구에 사용된 순환골재도 모르타르 제거 및 입형개선을 위해 회전 마쇄 및 충격파쇄가 동시에 작용하는 품질개선 공정을 통해 생산된 것을 사용하였기 때문에 판단된다. 그리고 이와 같은 품질개선 공정이 순환 잔골재 보다는 순환 굵은골재에 보다 효율적으로 적용되어 Fig. 6에 나타난 것과 같이 부순 굵은골재에 비하여 양호한



(a) RG



(b) RS

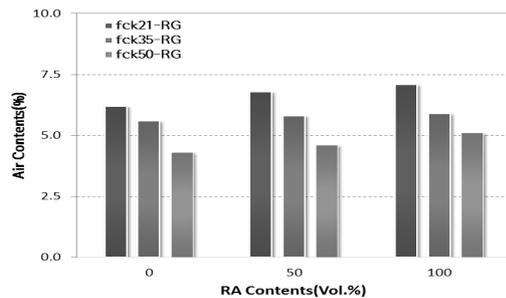
Fig. 5. Slump of RA concrete



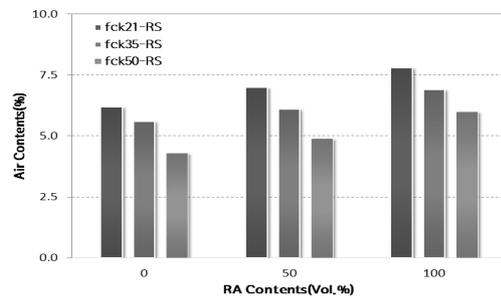
Natural aggregate(NG)

Recycled aggregate(RG)

Fig. 6. Shape of natural & recycled aggregate



(a) RG



(b) RS

Fig. 7. Air contents of RA concrete

입형을 갖고 있기 때문에 판단된다. 또한 이와 같은 결과는 Kim et al.(2013)의 연구결과에서도 보고된 바 있다.

공기량 측정결과 Fig. 7에 나타난 것과 같이 순환골재의 혼입률이 증가할수록 모든 강도조건에서 공기량이 증가하는 경향을 나타냈으며, 순환 굵은골재의 경우는 0.2~0.9%, 순환 잔골재는 0.5~1.7% 증가하는 것으로 나타나 순환 잔골재 혼입에 따른 공기량 증가경향이 더 큰 것으로 나타났다. 이러한 원인은 순환골재에 부착되어 있는 구재 모르타르의 잠재공극에 의한 것으로서 순환 잔골재의 경우가 상대적으로 많은 구재 모르타르를 포함하고 있기 때문에 판단된다. 그리고 구재 모르타르량의 증가는 콘크리트의 유동성을 저하시키기 때문에 콘크리트의 다짐계수 감소로 공기량이 상대적으로 크게 나타난 것으로 판단된다.

따라서 순환 골재를 사용할 경우 목표 공기량을 충족할 수 있도록 사전배합을 통하여 혼화제의 사용량 선정 및 배합설계 상의 조정이 필요할 것으로 사료된다.

3.2 압축강도

순환 굵은골재 및 잔골재의 혼입률과 콘크리트의 설계기준 강도별 재령 28일 압축강도 측정결과는 Fig. 8에 나타난 것과 같다.

먼저 순환골재 혼입률에 따른 영향을 살펴보면 순환 굵은골재 및 잔골재의 대체 혼입률이 증가할수록 강도는 점차 감소하는 경향을 나타내, RG 100%의 경우 Plain 대비 약 9~15%의 강도 감소 결과를 나타냈으며, RS 100%에서는 최대 29% 정도까지의 강도 감소결과를 나타내 순환 잔골재 사용에 따른 강도 감소가 더 큰 것으로 나타났다.

순환골재 콘크리트의 압축강도 감소 요인은 표면에 부착된 구재 모르타르에 의한 기공률 증가, 바인더와의 계면부착력 저하,

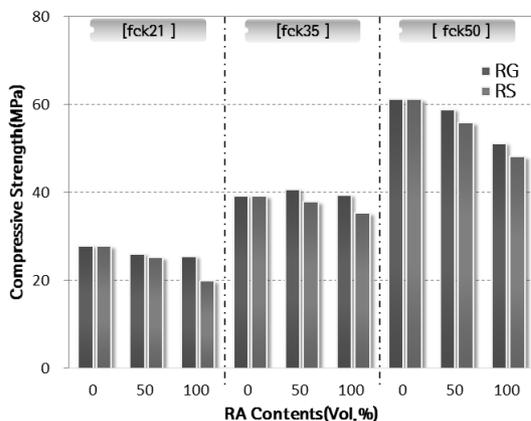


Fig. 8. Compressive strength of RA concrete

순환자원화 처리과정에서 발생한 골재 내부의 미세균열 및 기존 사용기간 동안의 다양한 열화 요인에 의한 골재자체의 물성 저하 등이 복합적으로 작용하기 때문이며, 순환 잔골재가 더 큰 강도감소 결과를 나타낸 것은 상대적인 구재 모르타르량의 함량 증가에 따른 골재 자체의 물성 저하 등에 기인한 것으로 판단된다(Lee et al, 2010).

그리고 순환 잔골재의 혼입률이 50%를 초과할 경우 강도감소 경향이 급격히 증가하는 것으로 나타났으며, 이는 Sim et al.(2005)의 연구결과와 동일한 경향성을 발현하는 것으로서, 본 연구의 f_{ck} 21MPa급에서 순환 잔골재를 100% 사용한 경우에는 설계기준강도를 충족시키지 못하는 것으로 확인되었다.

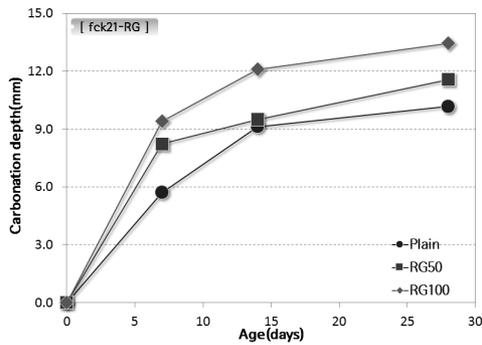
또한 설계기준강도별에 따른 순환골재 콘크리트의 압축강도 발현 특성을 살펴보면 저강도 영역인 21MPa급과 고강도 영역인 50MPa급에서 순환골재 혼입에 따른 강도저하 정도는 유사한 것으로 나타났다.

3.3 탄산화

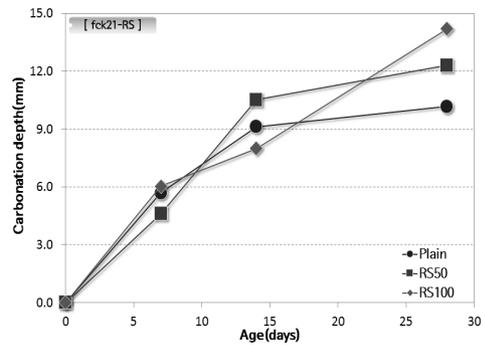
일반적으로 콘크리트 탄산화는 콘크리트의 공극구조 및 투수성, 내부 수분함량, 주변 환경조건(노출 CO₂ 농도 및 습도 등)에 따라 달라지게 되며, 수분이 존재하는 조건에서 CO₂가 시멘트의 수화물질인 CaOH₂와 반응하여 CaCO₃를 형성시켜 콘크리트의 pH 저감시켜 발생하게 된다. 이와 같은 탄산화는 콘크리트 내부 철근의 부식을 유발시켜 구조물의 안정성을 저하시키게 된다. 또한 순환골재를 사용한 경우는 천연골재 대비 상대적으로 높은 흡수특성 및 기공률 증가로 인하여 콘크리트의 탄산화 저항성을 저하시키는 것으로 알려져 있다(Silva et al, 2015; Iva, 2016). 따라서 본 연구에서는 순환골재의 활용량을 증대시키기 위한 실증자료의 확보를 위해 콘크리트의 강도수준 및 순환골재 대체 혼입조건에 따른 탄산화 특성을 검토하였다.

Fig. 9 및 10은 순환골재 종류 및 혼입률과 설계기준강도별 콘크리트의 탄산화 깊이 측정결과를 나타낸 것이다. 이를 고찰하여 보면 모든 강도수준에서 순환골재의 혼입률이 증가할수록 촉진 탄산화 깊이는 증가하는 결과를 나타냈다.

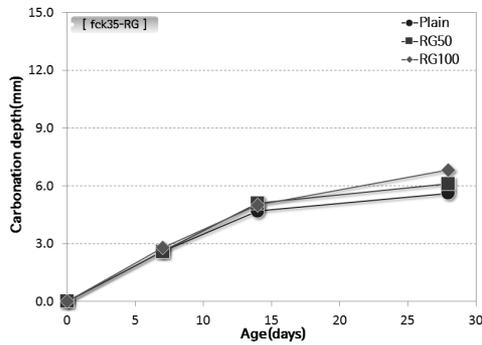
순환 굵은골재의 경우 혼입률 50%에서 Plain 대비 9~14% 정도 탄산화 깊이가 증가하는 것으로 나타났으며, 혼입률 100%에서는 16~32%까지 증가하였다. 순환 잔골재의 경우는 혼입률 50%에서 Plain 대비 12~21%, 100% 혼입률에서는 25~40%까지 탄산화 깊이가 증가하는 것으로 나타나 순환 잔골재의 경우가 순환 굵은골재보다 탄산화에 대한 저항성이 저하되는 특성을 나타냈다. Dhir



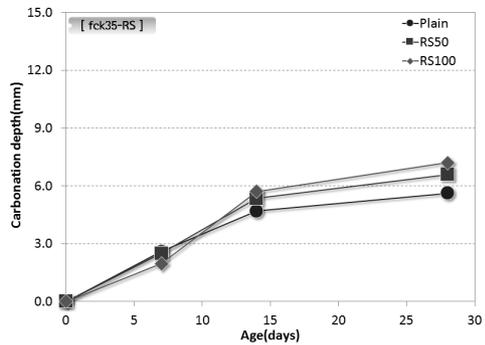
(a) f_{ck} = 21MPa



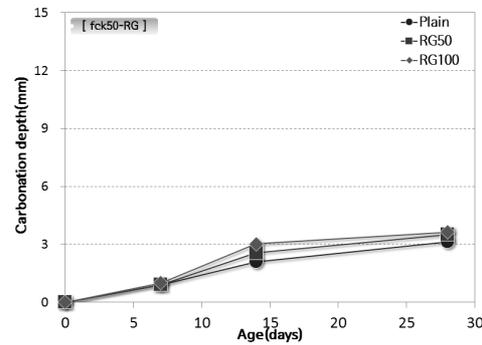
(a) f_{ck} = 21MPa



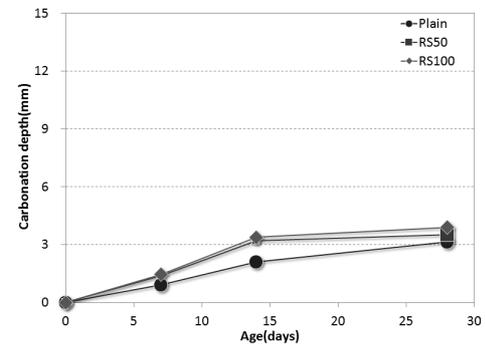
(b) f_{ck} = 35MPa



(b) f_{ck} = 35MPa



(c) f_{ck} = 50MPa



(c) f_{ck} = 50MPa

Fig. 9. Carbonation depth of concrete(RG)

Fig. 10. Carbonation depth of concrete(RS)

Rk et al.(1999), Padmini AK et al.(2002)는 이와 같은 원인을 순환 잔골재가 순환 굵은골재에 비하여 상대적으로 큰 흡수율과 투기성을 갖고 있고 있기 때문으로 설명하고 있다.

설계기준 강도별 순환골재 콘크리트의 탄산화 특성을 고찰하여 보면, 동일 순환골재 종류 및 혼입률 조건에서 콘크리트의 설계기준 강도가 증가할수록 탄산화 깊이는 크게 감소하는 결과를 나타내 f_{ck} 35MPa급의 경우는 21MPa급 대비 50.7~55.3% 정도의 탄산화 깊이를 나타냈으며, 50MPa급에서는 21MPa급 대비 30%이하의 탄산화 깊이를 나타냈다.

또한 Fig. 11에 나타난 것과 같이 설계기준강도별 순환골재 콘크

리트의 탄산화 속도분석 결과와 Figs. 12, 13에 나타난 순환골재 혼입률, 실측 압축강도 및 탄산화 깊이에 대한 3차원 회귀분석 결과에 나타난 것과 같이 저강도 영역에서는 순환골재 종류 및 순환골재 혼입률에 차이에 따른 콘크리트의 탄산화 거동 차이가 큰 것으로 나타났으나, 35MPa급 이상에서는 순환골재 종류, 품질특성 및 혼입률이 콘크리트의 탄산화 특성에 미치는 영향이 감소되어 천연골재를 사용한 콘크리트와 비교하여 1.6mm이내의 탄산화 깊이 차이만을 나타내 거의 대등한 수준의 탄산화 저항성을 확보할 수 있는 것으로 나타났다. Kim et al.(2011)의 연구에서도 순환골재 콘크리트의 탄산화 특성은 강도가 향상될수록 즉 배합상의 w/c

가 감소할수록 일반 천연골재를 사용한 경우와 유사한 수준의 성능을 확보할 수 있다고 보고하고 있다.

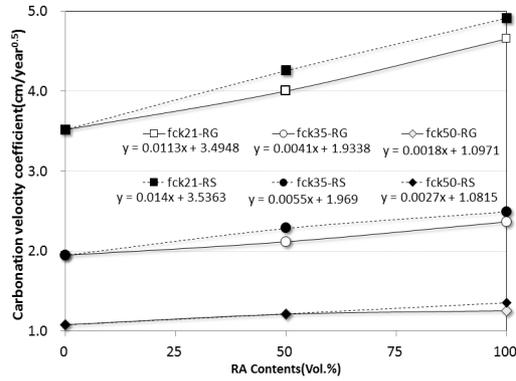


Fig. 11. Carbonation velocity coefficient of RA concrete

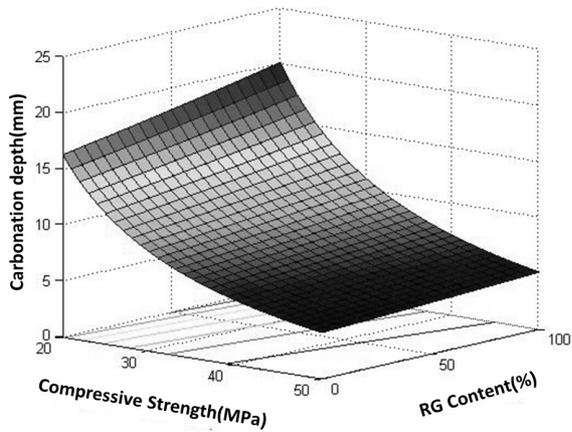


Fig. 12. Carbonation property of recycled coarse aggregate concrete according to main factors(RG)

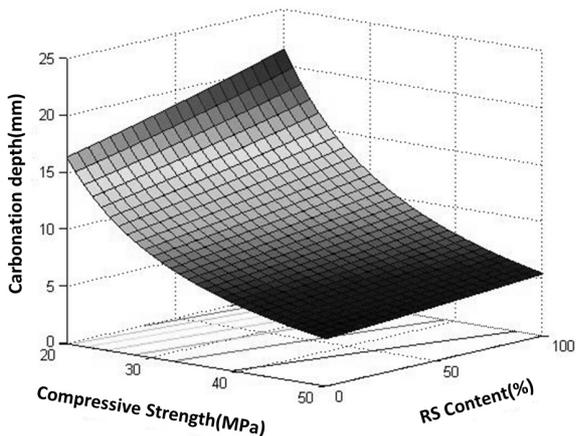


Fig. 13. Carbonation property of recycled fine aggregate concrete according to main factors(RS)

따라서 저강도 영역의 순환골재 콘크리트의 경우는 탄산화에 대한 저항성 확보를 위해 혼화재료의 적용이나 배합상의 조정을 통해 콘크리트의 강도를 일정 수준 향상시키는 것이 순환골재의 활용량 증가에 유효할 것으로 사료된다.

4. 결론

순환골재 사용량 증대를 위한 기초자료 제공을 위하여 본 연구에서는 현재 국내에서 생산되고 있는 순환골재의 혼입조건(종류, 혼입률) 및 설계기준강도별에 따른 콘크리트의 물리·역학적 특성과 촉진탄산화 특성에 대하여 분석하였으며, 연구결과는 다음과 같다.

1. 순환골재의 혼입률 증가에 따른 유동성 평가결과 모든 강도수준에서 순환 굵은골재의 경우는 천연골재와 유사한 특성을 나타낸 반면, 순환 잔골재를 사용한 경우는 혼입률 증가시 슬럼프가 감소되는 결과를 나타냈다. 이는 순환골재 생산 시 적용된 고도화 공정(파마쇄)이 순환골재 종류별에 따라 품질을 개선시키는 정도가 상이했기 때문으로 판단된다. 그리고 공기량의 경우는 모든 순환골재의 혼입률이 증가함에 따라 다소 증가되는 경향을 나타냈다.
2. 순환골재 혼입률 변화에 따른 압축강도는 모든 강도수준에서 순환골재 혼입률이 증가함에 따라 감소되는 결과를 나타냈으며, 혼입률이 50%를 초과할 경우 강도감소 정도가 보다 커지는 것으로 확인되었다. 그리고 골재 종류별에 따른 영향은 순환 잔골재의 경우가 혼입에 따른 강도감소 정도가 더 큰 것으로 나타났고 저강도 영역에서는 순환 잔골재를 100% 사용한 경우 설계기준강도를 충족시키지 못하는 것으로 나타났다.
3. 순환골재의 혼입률 변화가 콘크리트의 탄산화 거동에 미치는 영향을 분석한 결과, 모든 강도수준에서 순환골재의 혼입률이 증가할수록 촉진 탄산화 침투깊이는 증가하는 결과를 나타냈으며, 순환 잔골재 혼입에 따른 영향을 더 크게 받는 것으로 나타났다. 저강도 영역에서는 순환골재 종류 및 혼입량에 따른 콘크리트의 탄산화 거동 차이가 큰 것으로 나타났으나, 35MPa 급 이상에서는 순환골재 종류, 품질특성 및 혼입량이 콘크리트의 탄산화 특성이 미치는 영향이 감소되어 천연골재를 사용한 콘크리트와 비교하여 유사한 수준의 저항성을 확보할 수 있는 것으로 나타났다. 따라서 저강도 영역의 순환골재 콘크리트는 탄산화 저항성 확보를 위하여 강도를 일정 수준이상 향상시킬 수 있는 방안 적용이 필요할 것으로 사료된다.

감사의 글

본 연구는 환경부의 환경산업선진화기술개발사업에서 지원받았습니다(No. 2014000150002).

References

- Berndt, M.L. (2009). Properties of sustainable concrete containing fly ash, slag and recycled concrete aggregate, *Journal of Construction and Building Materials*, **23(7)**, 2606–2613.
- Dhir R.K, Limbachiya M.C, Leelawat T. (1999). Suitability of recycled concrete aggregate for use in BS 5328 designated mixes, *Institute Civil Engineering–Structure Build*, **134(3)**, 257–274.
- Iva Despotović. (2016). The Improvement of recycled concrete aggregate, *Contemporary Achievements in Civil Engineering*, **22**.
- Kim, Y.S., Kim, J.J., Seok, W.K., Lee, J.H., Kim, G.Y. (2011). An experimental study on the strength properties and durability performance of recycled concrete with water to cement ratio and unit water content, *Journal of the Korean Recycled Construction Resources Institute*, **16**, 88–93 [in Korean].
- Kong, D., Lei, T., Zheng, J., Ma, C., Jiang, J., Jiang, J. (2010). Effect and mechanism of surface-coating pozzolanic materials around aggregate on properties and ITZ microstructure of recycled aggregate concrete, *Journal of Construction and Building Materials*, **24(5)**, 701–708.
- Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology. (2014). Study on the Application of Recycled Aggregate [in Korean].
- Korean Ministry of Environment. (2015). Environmental Statistics Yearbook [in Korean].
- Kwan, W.H., Ramli, M., Kam, K.J., Sulieman, M.Z. (2012). Influence of the amount of recycled coarse aggregate in concrete design and durability properties, *Journal of Construction and Building Materials*, **26(1)**, 565–573.
- Lee, W.K., Choi, J.O., Jung, Y.W. (2015). Effect of the amount of attached mortar of recycled aggregates on the properties of concrete, *Journal of the Korean Recycled Construction Resources Institute*, **3(2)**, 132–139 [in Korean].
- M. Barra de Oliveira, E. Vazquez. (1996). Influence of retained moisture in aggregates from recycling on the properties of new hardened concrete, *Journal of Waste Management*, **16(1–3)**, 113–117.
- Montgomery, D., Sturgiss, D. (1996). Properties of concrete incorporating recycled concrete aggregates, *Institution of Engineers*, **153**.
- Padmini AK, Ramamurthy K, Mathews MS. (2002). Relative moisture movement through recycled aggregate concrete, *Magazine of Concrete Research*, **54(5)**, 377–384.
- Poon, C. (2007). Influence of fly ash as cement replacement on the properties of recycled aggregate concrete, *Journal of Materials in Civil Engineering*, **19(2)**, 709–717.
- Silva, R.V., Neves, R., Brito, C. (2015). Carbonation behavior of recycled aggregate concrete, *Journal of Cement & Concrete Composites*, **62**, 22–32.
- Sim, J.S., Park, C.W., Moon, I.W., Lee, H.C. (2005). Fundamental performance evaluation of recycled aggregate concrete with varyin amount of fly ash and recycled fine aggregate, *Journal of the Korea Concrete Institute*, **17(5)**, 793–801 [in Korean].
- Xiao, J., Li, J., Zhang, C. (2005). Technical properties of recycled aggregate concrete under uniaxial loading, *Journal of Cement and Concrete Composites*, **35**, 1187–1194.

설계기준 강도별 순환골재 콘크리트의 탄산화 특성

본 연구에서는 국내에서 생산되고 있는 콘크리트용 순환 굵은골재 및 순환잔골재를 사용하여 콘크리트의 설계기준 강도(21, 35, 50MPa) 및 순환골재의 혼입조건 변화가 콘크리트의 탄산화 거동에 미치는 영향을 분석하였다. 실험결과 순환 굵은골재의 혼입률 변화에 따른 콘크리트의 슬럼프는 순환골재를 혼입하지 않은 경우에 비해 동등하거나 양호한 유동성을 나타내는 것으로 나타났으며, 순환 잔골재를 혼입한 경우는 혼입률이 증가함에 따라 슬럼프가 감소되는 결과를 나타냈다. 또한, 순환 굵은골재 및 순환 잔골재의 혼입률이 증가할수록 콘크리트의 압축강도는 감소하는 것으로 나타났으며, 순환골재 혼입률이 50%를 초과할 경우 급격한 강도 감소 경향을 나타냈다. 그리고 탄산화 깊이는 모든 순환골재 종류에서 혼입률이 증가함에 따라 최대 40%까지 증가하는 결과를 나타냈으며 낮은 강도 수준의 콘크리트 일수록 순환골재 활용에 따른 탄산화 저항성 저하 정도가 큰 것으로 나타났다. 그리고 콘크리트의 압축강도가 증가할수록 순환골재 혼입에 따른 영향은 감소되어, 고강도 영역에서는 일반 콘크리트와 유사한 탄산화 특성을 발현하는 것으로 분석되었다. 따라서 순환골재를 콘크리트용 재료로 대량 활용하기 위해서는 콘크리트의 탄산화 저항성의 개선 위한 혼화재료의 적용 또는 배합설계상 조정을 통한 강도의 개선 등이 필요할 것으로 판단된다.