

강도수준별 순환골재 콘크리트의 염화물 확산특성

이 준^{1*}, 이봉춘², 조영근³, 정상화⁴

Chloride Diffusivity of Concrete using Recycled Aggregate by Strength Levels

Jun Lee^{1*}, Bong-Chun Lee², Young-Keun Cho³, Sang-Hwa Jung⁴

Abstract: This paper presents mechanical properties and chloride diffusivity of the recycled aggregate concretes(RAC) in which natural coarse aggregate was replaced by recycled coarse aggregate(RCA) by compressive strength levels(20, 35, 50 MPa). A total of 9 RAC were produced and classified into three series, each of which included three mixes designed with three compressive strength levels of 20 MPa, 35 MPa and 50 MPa and three RCA replacement ratios of 0, 50 and 100%. Engineering properties of RAC were tested for slump test, air content, compressive strength, chloride penetration depth and chloride diffusion coefficient. The test results indicated that the workability of RAC could be improved or same by RCA replacement ratios, when compared with that containing no RCA. This is probably because of the RCA shape improving the workability of RAC. Also, the test results showed that the compressive strength was decreased by 9~10% as the RCA replacement ratios increase. Furthermore, the result indicated that the measured chloride diffusion coefficient increases by 144% with the increase of the RCA replacement. In the case of the concrete having low level compressive strength, the increase of chloride diffusion coefficient tends to be higher when using the RCA. However, the trend of chloride diffusion coefficient in high level compressive strength concrete is similar to that obtained in general concrete. This is because that the effect of the RCA replacement could be a decrease with increase of compressive strength. Therefore, an advance on the admixture application and mix ratio control are required to improve the chloride resistivity when using the recycled aggregate in large scale.

Keywords: Construction Waste, Recycled Aggregate, Concrete, Attached Mortar, Chloride Diffusivity

1. 서 론

최근 건설사업에 있어서 도시의 재개발과 건물의 경제적, 기능적 수명단축 및 노후시설물 증가에 따라 콘크리트 구조물의 해체 및 철거가 발생하고 있으며 이에 따라 매년 건설 폐기물 발생량이 증가하고 있는 실정이다.

2014년 환경부 통계자료에 의하면 건설폐기물 중 폐콘크리트의 경우 국내에서 연간 40,753천톤이 발생하였고, 전체 건설폐기물 중 60.8%로서 가장 큰 비중을 차지하고 있다. 그러나 국내에서는 폐콘크리트의 수거, 분리 및 순환골재 생산 체계의 미흡한 정립, 장비의 실용화 부족, 재활용처의 한계 등으로 적은 양만이 재활용되고 있는 실정으로 정부의 제2차 건설폐기물 재활용 기본계획 개요에 따르면 순환골재의 실질 재활용률을 2012년도 36%에서 2016년도까지 45%까지 끌어

올릴 계획을 갖고 있다(Ministry of Environment, 2014).

기존 순환골재의 활용처는 대부분 저품질의 도로용 재료로서 재활용 되고 있었으나, 향후 SOC 투자 감소에 따라 신규 도로포장의 수요가 감소할 것으로 예상되어 순환골재의 재활용률도 감소될 것으로 예상된다. 따라서 순환골재의 실질 재활용률 증대 및 고부가가치 방안 창출을 위해서는 콘크리트용 골재로서의 재활용 기술개발이 요구되고 있는 실정이다.

순환골재를 콘크리트용 재료로 활용하기 위해서는 경제적 이면서 품질성능이 확보되어야 한다. 순환골재의 사용은 콘크리트의 성능을 저하시키는 것으로 보고되고 있으며 이러한 원인은 순환골재에 부착된 다공질의 모르타르와 이로 인한 낮은 밀도가 주요한 원인으로 알려져 있다(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).

CSIRO의 가이드라인에서는 순환골재를 사용할 경우 낮은 등급의 콘크리트에 적용할 것을 제시하고 있으며 천연골재의 대체율을 30%로 권고(CSIRO, 2002)하고 있다. 순환골재의 낮은 대체율을 권장하는 이유는 순환골재로 제조된 콘크리트에 대한 일정 수준의 내구성능을 확보하기 위한 것으로 설명하고 있다(CSIRO, 2002; Poon et al., 2007; Sagoe Crentsil et al., 2001).

¹정회원, (재)한국건설생활환경시험연구원 선임연구원, 교신저자

²정회원, (재)한국건설생활환경시험연구원 책임연구원

³정회원, (재)한국건설생활환경시험연구원 선임연구원

⁴정회원, (재)한국건설생활환경시험연구원 수석연구원

*Corresponding author: lj4923@kcl.re.kr

•본 논문에 대한 토의를 2016년 4월 1일까지 학회로 보내주시면 2016년 5월 호에 토론결과를 게재하겠습니다.

또한, 국내의 경우도 KS F 2573 「콘크리트용 순환골재」에서는 순환골재의 사용량을 천연골재의 30%이하로 사용량을 권고하고 있다. 그러나 최근 순환골재의 생산시스템의 발전으로 순환골재의 품질은 점차 양호해 지고 있으나 이를 활용한 순환골재 콘크리트의 염화물 확산 특성 등의 내구성에 대한 실증적인 자료는 아직 부족한 상황이다.

따라서 본 연구에서는 현재 국내에서 생산되고 있는 콘크리트용 순환 굵은골재를 사용하여 콘크리트의 압축강도 수준에 따라 순환 굵은골재의 혼입률 변화가 콘크리트의 염화물 확산 특성에 미치는 영향을 분석하여 순환골재의 사용량 증대를 위한 기초자료를 제공하고자 한다.

2. 실험계획 및 방법

2.1 실험요인 및 배합

순환 굵은골재를 사용한 콘크리트의 염화물 확산 특성을 검토하기 위하여 압축강도 수준과 순환골재의 혼입률을 주요 실험인자로 선정하였다. 콘크리트의 기본 물성으로서 슬럼프, 공기량, 재령 28일 압축강도를 측정하였으며 염화물 확산 특성 분석을 위해서는 염화물 이온 침투깊이 및 염화물 확산 계수를 측정하였다. 실험수준으로서는 설계기준 압축강도를 3수준(21, 35 및 50 MPa)으로 선정하고 순환 굵은골재의 치환율을 천연 굵은골재 용적대비 0, 50 및 100%로 선정하였으며 본 연구의 콘크리트 제조를 위한 배합은 Table 1과 같다.

2.2 사용재료

2.2.1 시멘트

본 연구에 사용된 시멘트는 밀도 3.14 g/cm³, 분말도 3,459

Table 1 Mix proportion of RAC

Factor	W/C (%)	S/a (%)	Unit weight(kg/m ³)					
			W	C	G	RA	S	A
SL21-RA0	60	47	180	300	947	0	812	-
SL21-RA50	60	47	180	300	474	450	812	-
SL21-RA100	60	47	180	300	0	901	812	-
SL35-RA0	38	46	183	482	888	0	767	3.37
SL35-RA50	38	46	183	482	444	422	767	3.37
SL35-RA100	38	46	183	482	0	844	767	3.37
SL50-RA0	28	38	170	607	1006	0	563	5.04
SL50-RA50	28	38	170	607	503	463	563	5.04
SL50-RA100	28	38	170	607	0	925	563	5.04

W/C=water/cement ratio, S/a=sand/aggregate ratio
W=water, C=cement, RA=recycled aggregate, A=admixture

cm²/g인 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 Gmax 13 mm, 밀도 2.64 g/cm³, 흡수율 0.8%인 부순골재를 사용하였다. 또한 잔골재는 국내 경기지역의 강사로서 최대치수 5 mm, 밀도 2.51 g/cm³, 흡수율 1.48%인 것을 사용하였다.

2.2.3 순환 굵은골재

순환 굵은골재는 국내 H사에서 폐콘크리트를 중간처리하여 생산되는 것으로서 Gmax 13 mm, 밀도 2.44 g/cm³, 흡수율 3.09%의 것을 사용하였으며 골재의 물리적 특성은 Table 3에 나타난 것과 같고, Fig. 1은 본 연구에 사용된 천연 굵은골재와 순환 굵은골재의 형상을 나타낸 것이다.

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	3459	3.14

Table 3 Properties of aggregate

Properties	Coarse Aggregate	Sand	Recycled Aggregate
Maximum size(mm)	13	5	13
Apparent density(g/cm ³)	2.64	2.51	2.44
Water absorption(%)	0.8	1.48	3.09

Table 4 Properties of admixture

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



Fig. 1 Natural and recycled aggregate

2.2.4 혼화제

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

2.3 시험방법

2.3.1 슬럼프 및 공기량

강도수준별 순환골재 활용 콘크리트의 균지 않은 특성을 분석하기 위한 슬럼프 시험은 KS F 2402 「콘크리트의 슬럼프 시험방법」에 준하여 측정하였다.

또한 공기량 시험은 KS F 2421 「압력법에 의한 균지않은 콘크리트의 공기량 시험방법」에 준하여 측정하였으며 Fig. 2는 순환골재 활용 콘크리트의 슬럼프 및 공기량 측정 전경이다.

2.3.2 압축강도

압축강도 시험을 위한 공시체는 KS F 2403 「콘크리트의 강도 시험용 공시체 제작 방법」에 준하여 $\Phi 100 \times 200$ mm의 원주 공시체를 제작하였다.

또한 시험편의 압축강도 측정은 제작된 공시체를 재령 28일까지 수중양생($20 \pm 2^\circ\text{C}$)을 실시한 후 KS F 2405 「콘크리트의 압축강도 시험방법」에 준하여 최대용량 1000 kN의 만능 재료 시험기(Universal Testing Machine: UTM)를 이용하여 측정하였으며, 압축강도의 산출은 배합당 5개 시험편의 압축

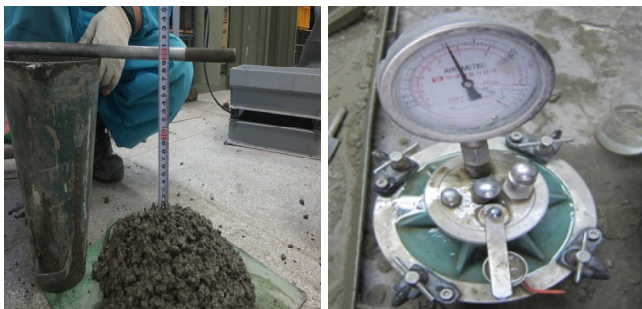


Fig. 2 Slump & air content test

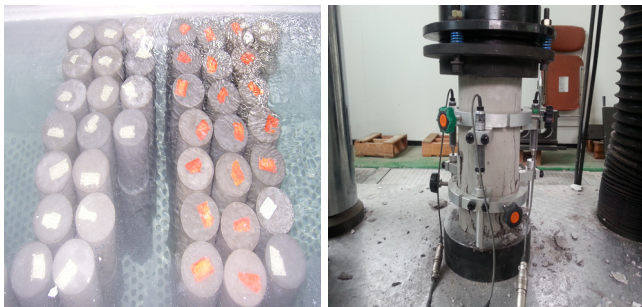


Fig. 3 Curing & compressive strength test

강도를 측정 후 평균값을 사용하였다. Fig. 3은 압축강도 측정을 위한 시험편의 양생 및 강도시험 전경을 나타낸 것이다.

2.3.3 염화물 확산계수

강도 수준별 순환골재 콘크리트의 염화물 확산특성을 분석하기 위하여 전기적 촉진시험법인 NT Build 492 「Chloride migration coefficient from non-steady-state migration experiments」에 준하여 시험을 실시하였다.

시험방법은 KS F 2403에 의해 제작된 $\phi 100 \times 200$ mm의 공시체를 50 mm 두께로 절단한 후 Fig. 4에 나타난 것과 같은 시험장치에 거치하고 양극(+)에는 0.3 N의 NaOH 수용액을 음극(-)에는 10% NaCl 수용액을 채워 전기적 전위차를 가하였다. 초기 전압을 가한 후 측정된 전류값에 기초하여 2차 전압을 설정하고, 이에 따른 시험시간을 결정하여 시험을 진행하였다.

시험 종료 후 시험체를 할렬하여 0.1 N의 질산은 용액을 분무 후 발색 정도를 측정하여 염화물 이온의 침투깊이를 산출하였다. 염화물 확산계수는 시험결과를 토대로 하여 다음의 식 (1)을 사용하여 계산하였다.

$$D_{cpd} = \frac{RTL}{zFU} \cdot \frac{x_d - \alpha \sqrt{x_d}}{t} \quad (1)$$

여기서,

$$E = \frac{U-2}{L}, \quad \alpha = 2 \sqrt{\frac{RTL}{zFU}} \cdot \text{erf}^{-1} \left[1 - \frac{2C_d}{C_o} \right]$$

D_{cpd} : 비정상 상태에서 구한 전위차 촉진 염소이온 확산계수(m^2/sec)

R : 기체 상수($8.314 \text{ J/mol}\cdot\text{K}$), T : 절대 온도(K)

L : 시편 두께(m), z : 이온 전자가

F : 패러데이 상수($96,500 \text{ J/V}\cdot\text{mol}$), U : 전위차(V)

x_d : 비색법에 의한 침투 깊이(m)

t : 전위차의 적용 시간(sec)

C_o : 음극셀의 염소이온 농도(mol/l)



Fig. 4 Non-steady-state migration experiment

C_d : 비색법에 의한 반응 농도(mol/l)

α : 실험 상수(T=295 K, U=30 V, L=0.05 m 이면, $\alpha = 23,600 \text{ m}^{-1}$)

erf^l : 오차 함수의 역함수

3. 시험 결과 및 고찰

3.1 슬럼프 및 공기량

순환 굵은골재 혼입률 및 강도수준별 콘크리트의 슬럼프와 공기량 특성을 검토한 결과는 Fig. 5와 같다. 기존의 연구결과

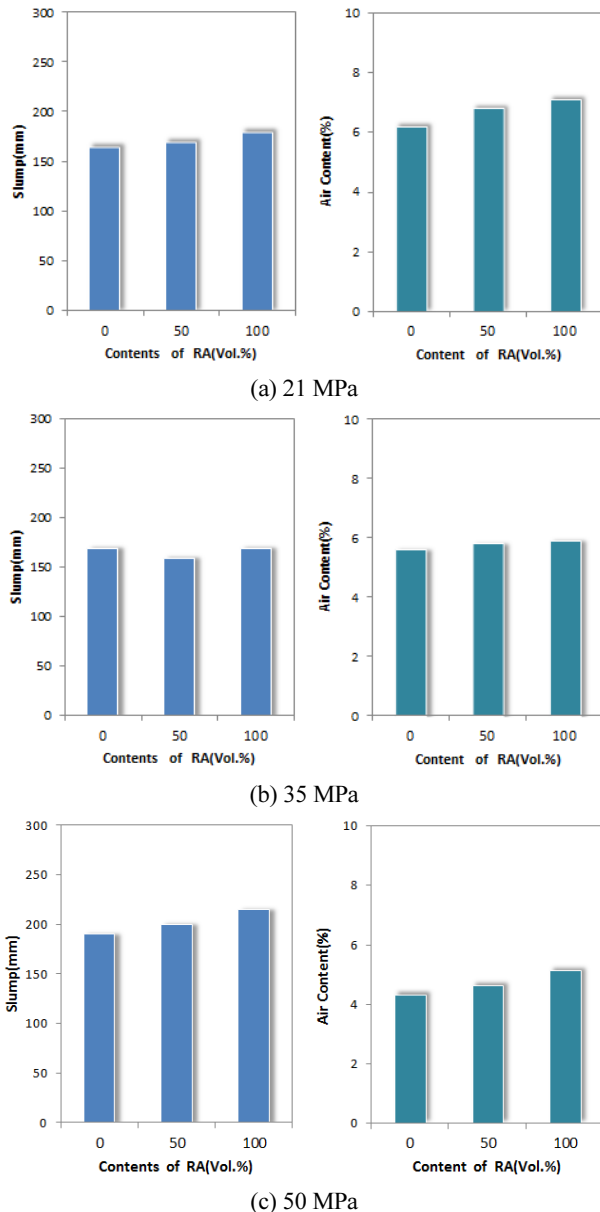


Fig. 5 Slump & air content of RA concrete

(Whiting et al., 2012; Poon et al., 2007)를 살펴보면 순환골재를 사용한 콘크리트의 슬럼프 변화는 순환골재의 혼입률이 증가할수록 순환골재에 부착되어 있는 구제 모르타르에 따른 기공률 증가와 표면 거칠기 등으로 인해 순환골재 혼입률이 증가할수록 슬럼프 값이 저하되는 경향을 나타낸다고 보고되고 있다. 하지만 본 연구에서는 강도 수준에 관계없이 순환 굵은골재의 혼입률이 증가할수록 순환 굵은골재를 혼입하지 않은 경우에 비해 슬럼프 값은 동등하거나 오히려 증가하는 경향을 나타냈다.

이러한 결과는 최근 순환골재 생산을 위한 건설폐기물 중간처리 시설에서는 고품질 순환골재의 생산을 위하여 다단계의 파쇄공정과 구제 모르타르의 최소화를 위한 마쇄장치들이 도입되는 등 생산설비가 고도화 되고 있다. 본 연구에 사용된 순환골재도 생산공정 단계에 모르타르 제거 및 입형 개선을 위해 회전 마쇄 및 충격파쇄가 동시에 작용하는 품질개선 공정이 설치되어 있으며 이와 같은 고도화 공정에서 생산된 순환 굵은골재는 Fig. 1에 나타난 것과 같이 부순 굵은골재에 비하여 양호한 입형을 갖고 있기 때문에 콘크리트의 유동성을 개선시킨 것으로 판단된다. 이러한 결과는 Kim et al. (2013)의 연구에서도 순환골재의 사용이 콘크리트의 유동성을 증가시킨다는 결과와 동일한 것으로 나타났다.

순환 굵은골재의 치환율에 따른 콘크리트의 공기량 측정 결과 강도 수준(21, 35 및 50 MPa)에 관계없이 치환율이 증가할수록 공기량은 다소 증가하는 경향을 보이고 있다.

Lee (1999)는 공기량의 증가원인을 순환골재에 부착되어 있는 모르타르에는 잠재공극을 함유하고 있기 때문에 공기량이 부순골재에 비하여 2%이상 증가하는 것으로 보고하고 있지만 본 연구에서는 공기량 증가 정도가 1% 정도 내외인 것으로 나타났으며, 또 다른 연구결과(Lee et al., 2015)에서도 본 연구결과와 유사하게 강도 수준에 관계없이 공기량의 증가는 크지 않은 것으로 보고하고 있다.

이와 같이 순환 굵은골재를 사용한 콘크리트의 유동성 및 공기량 특성은 과거 단순 파쇄시스템에 의해 생산된 순환 굵은골재의 품질(밀도, 흡수율, 모르타르 부착량, 입형 등)보다 최근 고도화 시스템이 도입된 생산공정으로 생산된 순환 굵은골재의 품질이 상대적으로 우수하기 때문에 순환골재 적용에 따른 굳지 않은 콘크리트의 품질저하 정도가 감소된 것으로 판단된다.

3.2 압축강도

순환 굵은골재의 혼입률 변화에 따른 수준별 콘크리트의 압축강도 측정 결과는 Fig. 6과 같다.

먼저 순환골재 혼입률에 따른 영향을 살펴보면 압축강도는 순환 굵은골재 치환율이 증가할수록 점차 감소하는 경향을

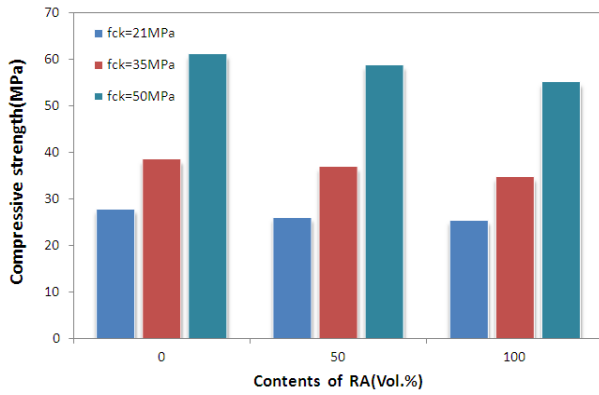


Fig. 6 Compressive strength of RA concrete

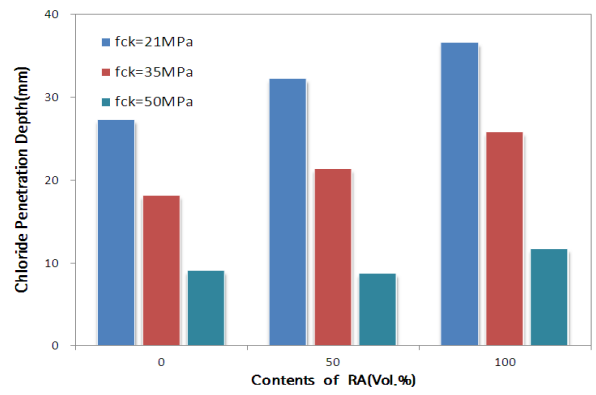


Fig. 7 Chloride penetration depth of RA concrete

보이고 있으며 순환 굽은골재 치환율 100%에서는 강도수준에 관계없이 순환골재를 사용하지 않은 경우에 비해 약 9~10% 정도의 압축강도 감소 결과를 나타냈다. 이와 같이 순환골재 혼입에 따른 강도 저하 원인은 순환골재 표면에 부착된 구제 모르타르로 인해 결합재와 순환골재 계면사이의 부착력 저하와 순환골재 생산 시 재파쇄에 의해 골재 내부에 발생하는 미세균열의 증가로 순환골재 자체의 강도저하가 원인인 것으로 판단된다.

또한 강도 수준별에 따른 영향을 살펴보면 상대적으로 낮은 강도 영역대인 21 MPa급과 고강도 영역인 50 MPa급에서도 순환골재 혼입에 따른 강도저하 정도는 유사한 것으로 나타나 강도수준에 따른 영향은 작은 것으로 판단된다.

3.3 염화물 확산

콘크리트 내부로의 염화물 침투는 시멘트 페이스트의 연속 모세관 공극, 골재-페이스트 전이역의 공극과 골재내부의 미세균열 등을 통한 염화물의 침투 및 확산에 의한 것으로 알려져 있으며 일반적으로 순환골재는 구제 모르타르 및 골재내부의 발생 균열로 인해 일반 콘크리트에 비하여 내염성능이 저하되어 순환골재 활용량 증대를 위한 제약 요인으로 작용되고 있다(Jianzhuang Xiao et al., 2013; L. Evangelista et al., 2010; Bae et al., 2012). 따라서 본 연구에서는 순환골재의 활용량을 증대시키기 위한 실증자료의 확보를 위해 콘크리트의 강도수준 및 순환 굽은골재의 혼입률에 따른 염화물 확산 특성을 검토하였다.

Fig. 7 및 8은 요인별에 따른 순환 굽은골재 콘크리트의 염소이온 침투 깊이 및 염화물 확산계수 측정결과를 나타낸 것이다.

이를 고찰하여 보면 모든 강도수준에서 순환 굽은골재의 혼입률이 증가할수록 염화물 침투깊이 및 염화물 확산계수는 증가하여 콘크리트의 내염성능이 저하되는 결과를 나타냈다. RA50%의 경우 RA0%에 비하여 염화물 침투깊이 및 확산

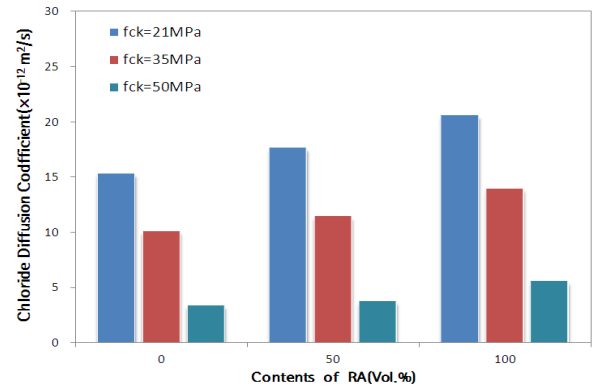


Fig. 8 Chloride diffusion coefficient of RA concrete

계수가 각각 111%, 113% 증가하는 것을 나타냈으며 RA 100%에서는 각각 135%, 144%까지 증가되는 것으로 나타나 RA 50% 이상에서 순환 굽은골재 혼입에 따른 내염성능의 저하 정도가 더욱 뚜렷한 것으로 나타났다. 이러한 원인은 콘크리트 내부로의 염화물 확산은 기공 및 공극특성과 밀접한 관계를 갖고 있으며, 순환골재의 경우 표면에 부착된 구제 모르타르에 의한 기공률 증가, 생산 시 발생하는 순환골재 내부의 망상 및 관통균열의 발생, ITZ(Interfacial Translation Zone)의 상대적인 증가에 기인한 것으로 판단된다.

Fig. 9는 순환골재 콘크리트의 압축강도와 염화물 확산계수와의 상관성을 분석한 결과이다. 이를 고찰하여 보면 RA0%의 경우 강도가 증가함에 따라 염화물 확산계수가 최대 77.7% 감소하는 것으로 나타났고 RA50%의 경우는 75.3%, RA100%의 경우는 63.5%까지 감소되어 순환골재 콘크리트의 강도가 증가할수록 염화물 확산계수는 감소되는 것으로 나타났으며, 두 요인간의 결정계수는 0.98로서 매우 높은 상관성을 갖는 것으로 분석되었다. 또한 기존의 연구결과(L. Zong et al., 2014; Ryu, 2011; Bae et al., 2010)에서도 본 연구결과와 유사한 경향을 나타내는 것으로 보고하고 있으며, 결정계수가 본 연구결과가 다소 높긴 하나 이는 사용되는 순환

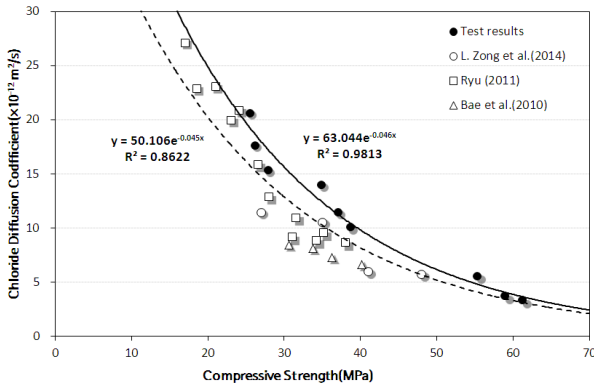


Fig. 9 Relation between compressive strength and diffusion coefficient of RA concrete (1)

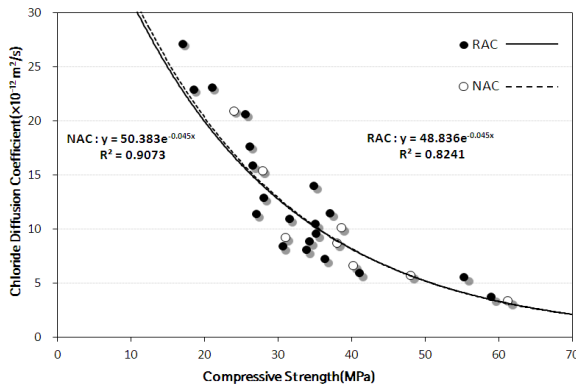


Fig. 10 Relation between compressive strength and diffusion coefficient of RA concrete (2)

골재의 품질, 사용량, 기타 재료 및 환경조건 차이에 기인한 것으로 판단된다.

또한 Fig. 10은 일반 골재를 활용한 콘크리트(NAC)와 순환 골재 콘크리트(RAC)의 압축강도와 염화물 확산계수와의 상관성을 분석한 결과이다. 이를 고찰하여 보면 콘크리트의 염화물 확산 특성은 골재 종류에 관계없이 압축강도 즉 매트릭스의 밀실정도에 가장 큰 영향을 받는 것으로 나타났으며, 특히 강도가 증가할수록 골재차이에 따른 영향은 감소되어 염화물 확산계수가 일정 수준으로 수렴되는 것으로 나타났다.

일반적으로 콘크리트 내부부의 염화물 확산에 영향을 미치는 요인으로는 공극률, 공극구조, ITZ 등의 내적 요인과 온도, 상대습도, 염화물 이온 농도 등의 외적 요인으로 분류될 수 있다. 이중 내적 요인은 콘크리트의 자체 특성으로서 순환골재를 사용한 콘크리트의 경우는 상기 내적요인에 가장 큰 영향을 미치는 요인으로 강도 수준 및 순환골재 혼입률 등이다. 따라서 본 연구에서는 강도 수준과 순환골재 혼입률에 따른 염화물 확산계수와의 상관성을 분석하기 위하여 다중 회귀분석을 수행하였으며, 결과는 Fig. 11에 나타난 것과 같다. 이를 살

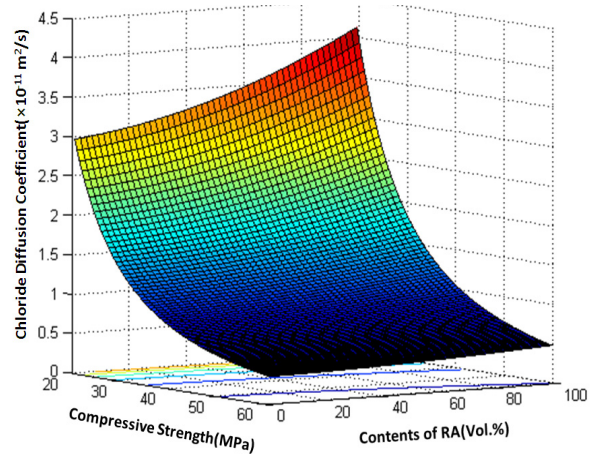


Fig. 11 Chloride diffusivity of RAC according to main factors

펴보면 낮은 강도 영역일 수록 순환골재에 사용에 따른 염화물 확산계수의 변동폭이 큰 것으로 나타나 21 MPa급에서는 최대 44% 정도인 것으로 나타났으며, 강도가 증가할수록 순환골재 혼입에 따른 영향이 감소되어 일반 콘크리트와 유사한 수준까지 내염성을 확보할 수 있는 것으로 분석되었다. 따라서 저강도 영역의 순환골재 콘크리트의 경우는 내염성 확보를 위한 플라이애시 및 고로슬래그 분말 등과 같은 혼화재료의 적용이나 배합상의 조정을 통해 콘크리트의 강도를 일정 수준 향상시킬 경우 순환골재의 활용량 증가에 유효할 것으로 사료된다.

4. 결론

현재 국내에서 생산되고 있는 콘크리트용 순환 굵은골재를 사용하여 콘크리트의 압축강도 수준(21, 35, 50 MPa)에 따라 순환 굵은 골재의 혼입률 변화가 콘크리트의 염화물 확산특성에 미치는 영향을 실험적으로 고찰하였으며, 연구 결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) 순환 굵은골재의 혼입률 변화에 따른 유동성을 검토한 결과 슬럼프는 순환골재를 혼입하지 않은 경우에 비해 동등하거나 양호한 유동성을 나타내는 것으로 나타났으며 공기량은 다소 증가하는 것으로 나타났다. 이러한 결과는 과거 단순 파쇄시스템에 의해 생산된 순환 굵은 골재의 품질(모르타르 부착량 및 입형 등)보다 최근 마쇄과정이 도입된 생산시스템으로 생산된 순환 굵은골재의 품질이 상대적으로 양호하기 때문으로 판단된다.
- 2) 순환 굵은골재의 혼입률 변화에 따른 압축강도는 순환골재 혼입률이 증가할수록 점차 감소하는 것으로 나타났

며, 감소폭은 강도수준에 따라 약 9~10% 압축강도가 감소하는 것으로 나타났다.

- 3) 순환 굵은 골재의 혼입률 변화에 따른 염화물 확산 특성에 미치는 영향을 분석한 결과, 모든 강도 수준에서 순환 굵은 골재의 혼입률이 증가함에 따라 염화물 확산계수는 최대 144%까지 증가되어 콘크리트의 내염성이 저하되는 특성을 나타냈고 특히 RA 50% 이상에서 저하정도가 뚜렷한 것으로 나타났다.
- 4) 또한 순환골재 콘크리트의 염화물 확산특성에 대한 요인별 상관성 분석결과 낮은 강도 수준의 콘크리트 일수록 순환골재 활용에 따른 내염성 저하 정도가 큰 것으로 나타났으며, 강도가 증가할수록 순환골재 혼입에 따른 영향은 감소되어, 고강도 영역에서는 일반 콘크리트와 유사한 염화물 확산 특성을 발현하는 것으로 분석되었다. 따라서 순환골재를 콘크리트용 재료로 대량 활용하기 위해서는 저강도 콘크리트의 경우 내염성 개선을 위한 혼화재료의 적용 또는 배합설계상 조정을 통한 강도의 개선 등이 필요할 것으로 판단되며, 향후 지속적인 연구수행과 시험결과에 대한 DB화를 통해 이에 대한 신뢰성 향상 및 검증을 수행할 계획이다.

감사의 글

이 논문은 2014 환경산업선진화기술개발사업의 지원을 받아 수행한 연구 과제(2014000150002)입니다. 이에 감사드립니다.

References

1. Bae, J.-M., and Kim, Y.-S. (2010), A study on the chloride diffusivity of recycled aggregate concrete, *Journal of The Korea Institute of Building Construction*, 10(1), 147-153.
2. Bae, J.-Y., Jang, Y.-I., Kim, Y.-Y., and Lee, B.-J. (2012), Hydration heat and chloride migration properties of high durable marine concrete, *Proceeding of Korea Institute for Structural Maintenance and Inspection*, 462-465
3. Berndt, M. L. (2009). Properties of sustainable concrete containing fly ash, slag and recycled concrete aggregate, *Construction and Building Materials*, 23(7), 2606-2613.
4. CSIRO. (2002), Guide to the use of recycled concrete and masonry materials. Standards Australia, HB 155-.

5. de Oliveira, M. B., and Vazquez, E. (1996), Influence of retained moisture in aggregates from recycling on the properties of new hardened concrete, *Waste Management*, 16(1-3), 113-117.
6. Evangelista, L., and de Brito, J. (2010), Durability performance of concrete mad with fine recycled concrete aggregate, *Journal of Cement & Concrete Composite*, Vol.32, 9-14.
7. Kim, K.-H., Shin, M.-S., Kong, Y.-S., and 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.
8. Korean Ministry of Environment (2014), Basic plan for recycling construction waste(2nd).
9. Kwan, W. H., Ramli, M., Kam, K. J., and Sulieman, M. Z. (2012), Influence of the amount of recycled coarse aggregate in concrete design and durability properties, *Construction and Building Materials*, 26(1), 565-573.
10. Lee, W. Choi, J., Jung, Y.-W. (2015), Effect fo the amaount of attached mortar of recycled aggregates on the properties of concrete, *Journal of the Korea Recycled Construction Resource Institute*, 3(2), 132-139.
11. Montgomery, D., and Sturgiss, D. (1996), Properties of concrete incorporating recycled concrete aggregates, *Institution of Engineers*, 153.
12. 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.
13. Ryu, H.-J. (2011), A study on the mechanical properties of recycled aggregate concrete using fly ash, Kongju National University, 75-81.
14. Sagoe-Crentsil, K., Brown, T., and Taylor, A. H. (2001), Performance of concrete made with commercially produced coarse recycled concrete aggregate, *Cement and Concrete Research*, 31(5), 707-712.
15. Whiting, B. A., McCarthy, T. J., and Lume, E. (2012), Drying shrinkage of concrete made from recycled concrete aggregate, 22nd Australasian Conference on the Mechanics of Structures and Materials, 1-6.
16. Xiao, J., Li, J., and Zhang, C. (2005). Technical properties of recycled aggregate concrete under uniaxial loading, *Cement and Concrete Composites*, 35, 1187-1194.
17. Xiao, J., Lu, D., and Ying, J. (2013), Durability of recycled aggregate concrete, *Journal of Advanced Concrete Technology*, 11, 247-359.
18. Zong, L., Fei, Z., and Zhang, S. (2014), Permeability of recycled aggregate concrete containing fly ash and clay brick waste, *Journal of Cleaner Production*, 70, 175-182.

Received : 01/15/2016

Revised : 01/25/2016

Accepted : 02/01/2016

요 지 : 본 연구에서는 국내에서 생산되고 있는 콘크리트용 순환 굵은골재를 사용하여 콘크리트의 압축강도 수준(20, 35, 50 MPa)에 따라 순환 굵은골재의 혼입률 변화가 콘크리트의 염화물 확산특성에 미치는 영향을 분석하였다. 실험결과 순환 굵은 골재의 치환율 변화에 따른 유동성(슬럼프)은 순환골재를 혼입하지 않은 경우에 비해 동등하거나 양호한 유동성을 나타내는 것으로 나타났다. 이러한 영향은 국내에서 생산되는 순환골재의 양호한 입형이 유동성 개선에 기여한 것으로 판단된다. 또한, 순환 굵은 골재의 치환율 변화에 따른 압축강도는 순환골재 혼입률이 증가할수록 약 9~10% 감소하는 것으로 나타났다. 그리고 염화물 확산계수는 순환골재 혼입률이 증가함에 따라 최대 144%까지 증가하는 결과를 나타냈으며 낮은 강도 수준의 콘크리트 일수록 순환골재 활용에 따른 내염성 저하 정도가 큰 것으로 나타났다. 강도가 증가할수록 순환골재 혼입에 따른 영향은 감소되어, 고강도 영역에서는 일반 콘크리트와 유사한 염화물 확산 특성을 발현하는 것으로 분석되었다. 따라서 순환골재를 콘크리트용 재료로 대량 활용하기 위해서는 콘크리트의 내염성 개선을 위한 혼화재료의 적용 또는 배합설계상 조정을 통한 강도의 개선 등이 필요할 것으로 판단된다.

핵심용어 : 건설폐기물, 순환골재, 콘크리트, 부착모르타르, 염화물 확산 특성
