

# 저품질 순환골재를 활용한 콘크리트 성능 평가

이승태, 박광필\*  
군산대학교 토목공학과

## Evaluation of the concrete using low quality recycled aggregate

Seung-Tae Lee, Kwang-Pil Park\*

Department of Civil Engineering, Kunsan National University

**요약** 본 연구에서는 콘크리트 적용 저품질 순환골재의 콘크리트 적용을 위하여 공학적 특성을 평가 하였다. 이를 위해서 저품질 순환골재의 세척유무에 따라서 골재 치환율을 30%, 60%, 100%로 콘크리트 제작하여 실험하였으며, 성능평가를 위하여 제작된 순환골재 사용 콘크리트의 압축강도, 흡수율, 표면전기저항, 초음파속도, 염소이온침투저항성 평가를 실시하였다. 세척한 저품질 순환골재의 경우 30% 치환시 천연골재와 유사한 결과를 모든 시험에서 나타내었다. 또한 60%를 치환한 콘크리트에서도 천연골재와 유사한 성능을 나타내는 것으로 확인되었다. 그러나 100%의 골재를 사용하는 것은 천연 골재 보다 다소 낮은 결과 값을 나타내었다. 반면 세척을 하지 않은 저품질 순환골재의 경우는 치환율에 관계없이 전체적으로 천연골재 보다 좋지 않은 결과를 나타내었다. 특히 내구성 평가의 척도로 평가한 염소이온침투저항성 평가에서는 초기의 경우 매우 높음의 결과를 나타내었으며, 28일 재령에서도 보통 수준의 저항성을 나타내어 세척 순환골재와 약 2배 정도의 차이를 나타내었다.

따라서, 저품질 순환골재의 콘크리트 적용에 있어서 골재의 세척유무에 따라서 성능이 변화하는 것을 확인하였다.

**Abstract** The purpose of this study was to evaluate the properties of recycled aggregate concrete (RAC) using low quality recycled aggregate with or without washing before usage. The recycled aggregate concrete evaluated in this study contained various amounts of low quality recycled aggregate, viz. 30%, 60% and 100%. To evaluate the performance of the recycled aggregate concrete, various test methods were employed to assess its compressive strength, absorption, surface resistance, ultrasound velocity, chloride ion resistance, etc.

The properties of the RAC with 30% and 60% washed recycled aggregate were similar those of the natural aggregate. However, the properties of the RAC with 100% washed recycled aggregate were slightly lower than those of the other versions. Also, the RAC with the non-washed recycled aggregate exhibited lower performance results. The results showed that the RAC with washed recycled aggregate had similar properties to normal concrete (concrete using natural aggregate). This implies that the recycled aggregate should be washed to improve the RCA.

**Keywords** : Concrete, Low-quality recycled aggregate, Compressive, Absorption rate, Engineering properties

### 1. 서론

경제성장에 따른 급진적 산업화로 인하여 건설 산업에서 양질의 천연골재가 부족하며, 천연골재 및 부순 골

재의 공급부족을 해결할 수 있는 대체골재의 필요성이 점차 요구되고 있다.

또한, 1980년대 이후 건설된 사회기반시설물을 포함한 콘크리트 구조물의 노후로 인하여 기존구조물의 폐기

본 논문은 국토교통부 및 국토교통과학기술진흥원(KAIA)의 “고품질 순환골재 생산 및 콘크리트 활용기술 개발 (17SCIPC120606-02)” 연구과제에서 연구비를 지원받아 수행된 결과입니다. 이에 감사드립니다.

\*Corresponding Author : Kwang-Pil Park (Kunsan National Univ.)

Tel: +82-63-469-4877 email: pkp0527@gmail.com

Received September 20, 2017

Revised (1st October 11, 2017, 2nd October 25, 2017)

Accepted November 3, 2017

Published November 30, 2017

에 따른 건설폐기물의 발생량 증가가 가속화되고 있는 실정이다. 건설폐기물은 전체 폐기물의 약 50%를 차지하고 있으며, 이와 같은 건설폐기물의 재활용은 자원의 재활용 측면 뿐만 아니라 경제적 이익에 있어서 많은 기대효과를 누리게 된다[1-4].

순환골재는 천연골재(부순 골재)와 달리 그 품질이 매우 우수하다 하여도 순환골재에 남아 있는 모르타르의 영향으로 인하여 굳지 않은 상태와 굳은 상태에서의 성능이 천연골재만 사용한 콘크리트 보다 못하다고 보고되고 있다[5,6]. 특히 순환골재를 생산하는 원재료의 품질에 따라 그 품질의 순환골재의 품질이 매우 다양한 종류로 생산되어 아직까지 국내의 건설현장에서는 복도용이나 도로의 기층용으로 사용이 많을 뿐 콘크리트의 사용은 매우 미흡하다 할 수 있다[7-9,12].

순환골재는 생산과정에서 많은 분진과 이물질이 골재 표면에 부착되어 있어 콘크리트에 사용시 부착력 및 강도 저하를 나타내어 사용을 피하고 있는 실정이다 [10-13]. 아직까지는 이러한 이물질 보다는 순환골재의 표면 모르타르의 영향에 대한 연구가 주를 이루고 있는 실정이다. 그러나 실제 순환골재의 경우 최근 개장된 콘크리트용 순환골재의 품질기준에 만족하는 콘크리트용 골재 보다 성능이 낮은 저품질 순환골재의 생산이 많다. 그러나 이러한 저품질의 순환골재는 그 활용도가 매우 낮을 뿐만 아니라 활용이 안 되는 경우 대부분 매립이 되어 또 다른 환경 문제를 발생시킨다.

이와 같은 저품질의 순환골재 활용이 낮은 이유는 표면에 많은 미세 유무기이물질로 인한 성능저하가 문제가 되는 실정이며, 이를 개선하여 건설용 재료로 활용하고자 하는 연구는 미흡한 실정이다.

본 연구에서는 저품질 순환골재의 콘크리트 활용 방안을 제안하기 위한 방법의 하나로 저품질 순환골재를 세척 및 선별 이물질 제거 유무에 따른 순환골재의 콘크리트 역학적 특성을 비교 분석 하였다.

## 2. 실험개요

### 2.1 사용재료

#### 2.1.1 시멘트

본 연구에서 사용한 시멘트는 KS L 5201에 따른 국내 S사 1종 보통 포틀랜드 시멘트(이하 OPC)를 사용하

였으며 화학성분 및 물리적 성질은 Table 1 및 2와 같다.

Table 1. Chemical composition of cement

Chemical composition(%)						
SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>	lg-loss
21.7	5.7	3.2	63.1	2.8	2.2	1.3

Table 2. Physical properties of Cement

Density (g/cm <sup>3</sup> )	Blaine fineness (cm <sup>2</sup> /g)	Setting time(Min)	
		Initial	Final
3.15	3,280	221	361

### 2.1.2 골재

골재는 천연골재(Natural aggregate)와 순환골재를 사용하였으며 순환골재는 군산의 D사에서 생산되는 순환골재(Recycled aggregate)를 사용하였고, 천연골재(NA)는 부순 굵은 골재를 사용하였으며 잔골재는 비중이 2.6g/cm<sup>3</sup>의 부순모래를 사용하였다. 콘크리트용 순환골재의 품질기준은 밀도 2.5g/cm<sup>3</sup>이상, 이물질 함유량 유무기이물질 1%이하로 규정하고 있고, 본 연구에 사용된 골재의 물리적 성질은 Table 3과 같다. 또한, 각 골재의 체가름시험을 통한 입도분포는 Fig. 1, Fig. 2 및 Fig. 3과 같다.

Table 3. Physical properties of aggregate

	Natural aggregate (NA)	Washed recycled aggregate (RA)	Non-washed recycled aggregate (DRA)
G <sub>max</sub> (mm)	< 20	< 20	< 20
Density(g/cm <sup>3</sup> )	2.7	2.5	2.3
Absorption rate	0.7	4.5	5.4
Adhesive mortar (%)	-	7	12
Impurity Content (organic/inorganic, %)	-	0.1 / 0.3	0.8 / 4.3

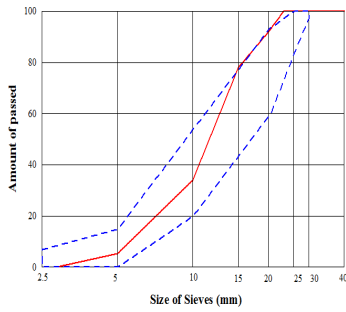


Fig. 1. Particle size curve (Natural aggregate)

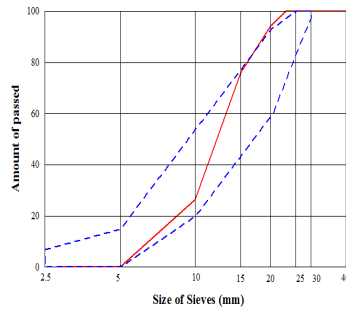


Fig. 2. Particle size curve (Washed recycled aggregate)

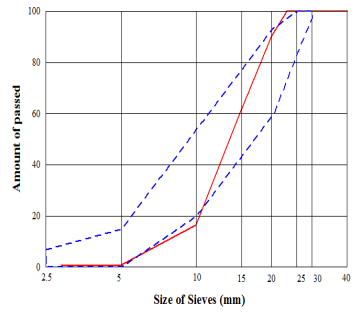


Fig. 3. Particle size curve (Non-washed recycled aggregate)

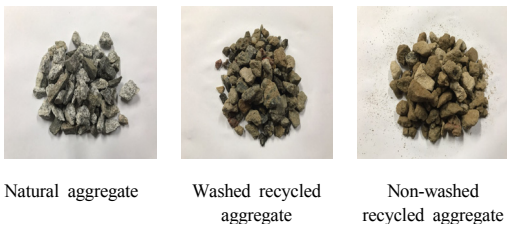


Fig. 4. Aggregate for evaluation

### 2.1.3 화학혼화제

콘크리트의 적절한 유동성(120±10mm) 및 공기량(4.5±0.5%)을 확보하기 위하여 PC 계열 고성능감수제(SP제) 및 공기연행제(AE제)를 사용하였다.

## 2.2 배합 및 시험체 제작

본 실험에 사용된 콘크리트 배합은 순환골재를 사용한 콘크리트 배합으로써 천연골재에 대하여 순환골재의 함량을 30%, 60%, 100% 대체 하였다. 순환골재는 세척한 순환골재(이하RA)와 세척을 하지 않은 저품질 순환

골재(이하DRA)로 나누어 사용하였다. 콘크리트 시험체 제작은 KS F 2403 “콘크리트의 강도 시험용 공시체 제작방법”에 준하여 원주형(∅100×200mm)의 원형몰드를 사용하여 제작하였다. 믹싱된 콘크리트는 제조 1일 후 탈형을 실시하였고, 20±3℃ 조건에서 수중양생 하였다. 각 콘크리트의 배합특성을 나타낸 것이 Table 4이다.

## 2.3 실험방법

### 2.3.1 강도특성

수중 양생한 ∅100×200mm 원주형 공시체를 대상으로 KS F 2405에 준하여 재령 7, 28일에서 콘크리트의 압축강도 실험을 실시하였다. 각각의 재령에서 압축강도 측정시 편심의 영향을 줄이기 위하여 콘크리트 공시체의 양면을 연마하였으며, 재령별로 3개의 콘크리트 공시체를 측정하였다.

### 2.3.2 흡수율

흡수율 시험은 Fig. 5와 같이 ASTM C 1585에 준하

Table 4. Mix proportions of concrete

no.	Types	G <sub>max</sub> (mm)	Slump(mm)	Air(%)	W/B (%)	s/a (%)	Unit Weight (kg/m <sup>3</sup> )				
							W	C	S	NA	RA-DRA
1	RA0	20	120±15	4.5±0.5	40	47	150.2	375.5	841	967	0
2	RA30									677	262
3	RA60									203	523
4	RA100									0	872
5	DRA30									677	251
6	DRA60									203	501
7	DRA100									0	836

NA:Natural aggregate, RA:Washed recycled aggregate, DRA:Non-washed recycled aggregate

여 시험을 실시하였으며 시편의 재령 7일에 대하여 측정하여 흡수율(I)과 초기흡수계수(Si : Initial absorption coefficient)을 측정하였다.

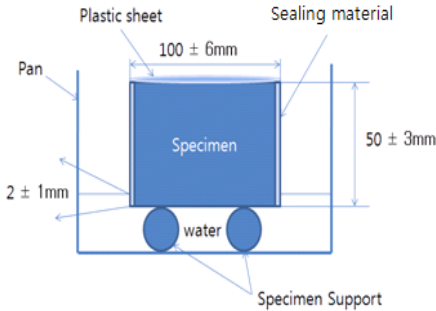


Fig. 5. Absorption rate method

### 2.3.3 표면전기저항

순환골재 콘크리트의 표면전기저항값을 측정하기 위하여 Fig. 6과 같이 Ø100×200mm 원주형 공시체를 대상으로 Wenner법에 근거한 four- electrode resistivity 시험을 실시하였으며, 각 재령별로 측정하였다.

### 2.3.4 초음파속도 측정

초음파속도 측정은 Fig. 7과 같이 초음파 탐상기를 이용하여 콘크리트 내부에 초음파를 방사하여 전파 속도를 측정하였다. 초음파속도를 측정하여 콘크리트 내부의 균열, 균열 깊이, 공극, 균질성 등을 확인할 수 있으며, 각 재령별로 측정하였다.

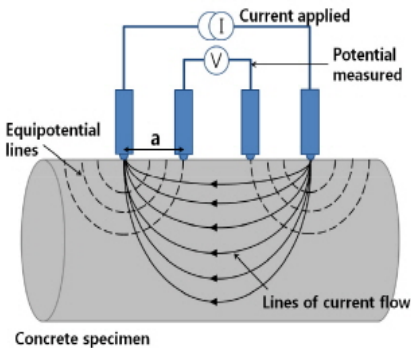


Fig. 6. Four-point wenner surface electrical resistivity method



Fig. 7. Ultrasonic velocity method

### 2.3.5 염소이온 침투저항성

콘크리트의 통과전하량은 Fig. 8과 같이 ASTM C 1202에 준하여 두께 Ø100×50mm의 공시체를 대상으로 하여 측정하였다. 시험체 양단에 60V의 직류전압을 6시간 동안 통전시키면서 시험체에 흐르는 전류를 데이터 로거를 이용하여 30분 간격으로 측정하였으며, 측정된 전류로부터 시간에 대한 전류의 적분 값을 취하여 식 (1)로 총 통과전하량을 산정하였다.

$$Q = 900 \times (I_0 + 2I_{30} + 2I_{60} + \dots + 2I_{330} + I_{360}) \quad (1)$$

여기서, Q = 총 통과전하량(Coulomb), I<sub>x</sub> = x분에서의 전류값(A)이다.

염소이온 침투에 대한 저항성 평가는 Table 5의 ASTM C 1202에 준하여 총 통과전하량을 평가하였다.

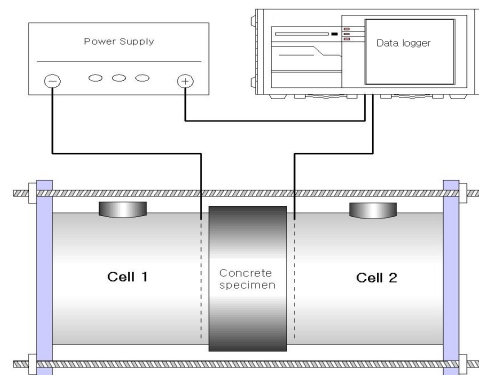


Fig. 8. Chloride penetration test method

**Table 5.** Chloride ion penetrability based on charge passed (ASTM C 1202)

Total passed charge (coulomb)	Chloride ions permeability
> 4,000	High
2,000 ~ 4,000	Moderate
1,000 ~ 2,000	Low
100 ~ 1,000	Very low
< 100	Negligible

### 3. 실험결과 및 고찰

#### 3.1 강도특성

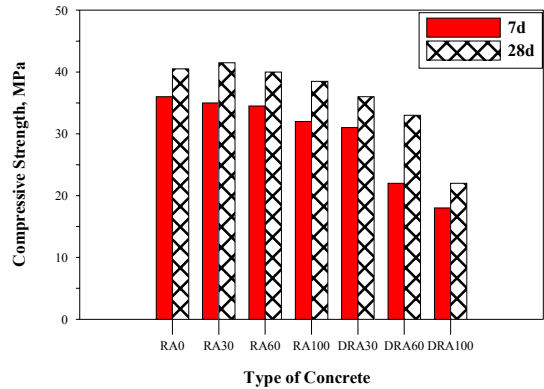
저품질 순환골재의 세척 유무에 따라 그리고 치환률이 다른 콘크리트 시험체들의 7일과 28일 압축강도를 Fig. 9에 나타내었다. 골재 종류에 관계없이 재령이 증가함에 따라 강도가 증가하였다. 7일 재령에서는 저품질 순환골재의 사용량이 증가함에 따라 압축강도가 감소하는 경향이 나타나며, 28일 압축강도에서는 DRA의 경우만 강도감소 경향을 나타내었다.

세척 저품질 순환골재를 사용한 콘크리트의 경우는 30~60%까지 사용한 콘크리트에서는 천연골재를 사용한 콘크리트와 차이가 없는 압축강도 결과를 나타내는 것을 확인 하였다. 그러나 비세척 순환골재의 경우는 30%를 치환한 콘크리트에서부터 천연골재를 사용한 콘크리트보다 압축강도가 10%이상 감소하는 것으로 나타났으며, 60%이상을 치환한 경우 40% 이상의 강도 감소를 나타내었다.

동일한 30% RA와 DRA 치환율에서 DRA의 강도가 RA 압축강도에 86%정도로 작게 나타났으며, 치환율 60%에서는 82%의 압축강도 저하가 나타났다. 저품질 순환골재를 100% 치환한 RA100 콘크리트는 천연골재 사용 콘크리트와 유사한 강도를 나타내었지만 비세척 저품질 순환골재를 사용한 DRA100은 재령에 관계없이 40%이상의 강도감소를 나타내는 것을 확인하였다. 이러한 결과는 저품질 순환골재에 포함되어 있는 유무기물질에 의한 영향으로 판단된다.

이러한 결과는 기존의 연구 결과와 콘크리트 표준시방서에서 제시한 순환골재 치환율 30%이내의 범위에서 활용시 압축강도에 변화가 없다는 기술 내용과 일치하는 것을 확인 할 수 있다. 또한, 저품질 순환골재의 단순 유

무기이물질의 제거만으로도 압축강도에 큰 영향을 미치는 것으로 나타났다[12,14].



#### 3.2 흡수율

콘크리트는 매우 낮은 흡수율을 가지고 있으며, 이러한 이유로 내구성을 요하는 환경에 많이 사용되고 있으며, 내구성 환경에 순환골재 활용 콘크리트 적용을 위하여 흡수율의 측정은 중요하다 할 수 있다.

저품질 순환골재를 사용한 콘크리트의 흡수율을 재령 7일에 측정하여 Fig. 10에 정리하였다. 저품질 순환골재를 사용한 콘크리트 모두 천연골재를 사용한 콘크리트보다 높은 흡수율을 나타내었다. 특히, 비세척 저품질 순환골재를 사용한 DRA100은 흡수율이 다른 콘크리트보다 큰 흡수율을 나타내었다.

순환골재를 사용한 콘크리트의 흡수율 측정에 있어서 중요한 측정결과인 초기 흡수계수(Si)를 산정하여 정리한 것이 Table 6과 같다. 천연골재를 사용한 RA0의 Si 측정값이 1.5로 나타났으며, RA30에서도 동일한 결과를 나타내었다. 그러나 세척 순환골재 60%이상 치환한 경우 흡수율 측정에서는 천연 골재 보다 높은 초기 흡수계수를 나타내었다. 세척을 하지 않은 DRA의 콘크리트는 치환율에 관계없이 초기 흡수계수가 크게 나타는 것을 확인하였다.

이러한 초기 흡수계수는 순환골재의 이물질과 골재 표면에 붙어있는 모르타르의 양에 따라 높아진 것으로 세척을 하지 않은 저품질 순환골재에서는 골재의 품질에서 흡수율이 5이상이며, 부착 모르타르의 양이 12%로 낮은 순환골재 치환율에서도 높은 흡수율이 나타나게 되는 결과로 판단된다.

흡수율과 초기 흡수계수의 결과에서 모두 천연골재의

흡수율과 흡수계수가 가장 적게 나타났으며, RA30의 경우 초기 흡수계수는 천연골재사용 콘크리트와 유사하게 나타났지만 전체적인 흡수율에서는 천연골재 보다 큰 값을 나타내었다. 흡수율에 영향을 미치는 내부 밀실도의 차이에서 나타나는 결과로 세척에 의한 이물질은 제거가 가능하나 부착 모르타르의 제거가 어려워 이와 같은 결과가 나타난 것으로 판단된다.

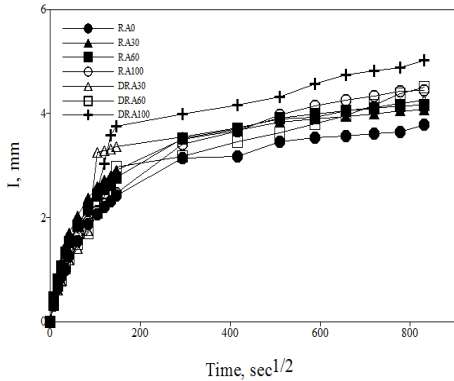


Fig. 10. Absorption rate

Table 6. Concrete initial absorption coefficient(Si)

Types	Si [ $\times 10^{-3}$ mm/s <sup>1/2</sup> ]
	7d
RA0	1.5
RA30	1.5
RA60	1.7
RA100	1.8
DRA30	1.8
DRA60	2.4
DRA100	2.5

### 3.3 표면전기저항 및 초음파속도

콘크리트의 가장 많은 부피와 무게를 차지하는 굵은 골재의 품질을 콘크리트의 역학적 특성에 많은 영향을 미치게 된다. 이러한 역학적 특성을 평가하기 위하여 표면전기저항과 초음파속도를 측정 정리한 것이 Fig. 11에서 Fig. 13이다.

표면전기저항 측정에서는 압축강도를 측정한 결과와 유사한 경향을 나타내는 것을 확인 할 수 있었다. 특히 재령 28일에서는 압축강도의 경향과 같이 저품질 세척 순환골재의 치환율이 30~60%에서는 실험 결과 값이 높

게 나타내었다. 그러나 비세척 저품질 순환골재사용 콘크리트는 천연골재를 사용한 콘크리트보다 매우 작은 값이 나타났다.

Fig. 12는 압축강도와 표면전기저항 측정값의 상관관계를 나타낸 것으로 세척한 순환골재 사용 콘크리트의 압축강도와 표면전기저항의 상관관계에서  $R^2=0.90$ 의 좋은 상관관계를 나타내는 반면 비세척 순환골재 사용 콘크리트의  $R^2=0.54$ 로 낮은 상관관계를 나타내는 것을 확인 하였다. 이러한 결과는 유무기 이물질이 많은 비세척 저품질 순환골재의 불순물에 의한 강도와 표면저항을 상관관계를 낮추는 영향으로 판단되며, 세척에 의한 이물질 제거만으로도 콘크리트의 품질을 확보하는데 기여하는 것으로 표현되는 결과라 판단된다.

Fig. 13의 초음파 속도 측정에서는 저품질 순환골재를 사용한 콘크리트가 천연골재를 사용한 콘크리트 보다 작은 값을 나타내었다. 특히, 초음파 속도의 경우는 세척과 비세척의 관계없이 천연골재사용 콘크리트 보다 낮은 값을 나타냈었으며, 치환율에 관계없이 크게 변화가 나타나지 않았다. 이러한 이유는 순환골재의 원재료에 대한 성능이 저품질 순환골재의 이물질의 영향보다 크다고 판단되며, 전체 결과가 천연골재 보다 낮은 이유는 순환골재의 생산에 있어서 햄머의 타격과 크러셔의 영향으로 인한 순환골재의 내부 미세 균열들의 영향으로 사료된다.

### 3.4 염소이온 침투 저항성

콘크리트 내부로의 물질 이동은 시멘트페이스트의 연속적인 모세공극, 골재-시멘트페이스트의 천이영역, 내부의 미세균열 등에 의한 물질의 이동이 있는 것으로 알려져 있고, 순환골재는 기존 모르타르 및 골재 생산에서 생성되는 미세균열에 의하여 그 침투량이 증가되어 내구성에 문제의 주요 원인으로 지적이 되며 이로 인한 순환골재의 콘크리트 사용이 줄어드는 이유라 할 수 있다 [15,16].

특히 저품질 순환골재의 경우는 순환골재의 생산에서 발생하는 원재료의 품질이 다양하여 이러한 영향을 크게 받게 된다. 이러한 영향을 평가하기 위하여 염소이온의 침투 특성을 평가하여 Fig. 14와 Fig. 15에 나타내었다. Fig. 14는 ASTM C1202에 준하여 측정된 염소이온 총 통과전하량을 측정된 결과로 세척순환골재와 비세척 순환골재의 영향이 확실히 구분되어 나타났다.

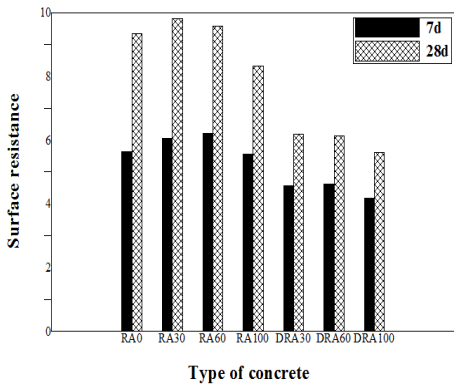


Fig. 11. Surface electrical resistance

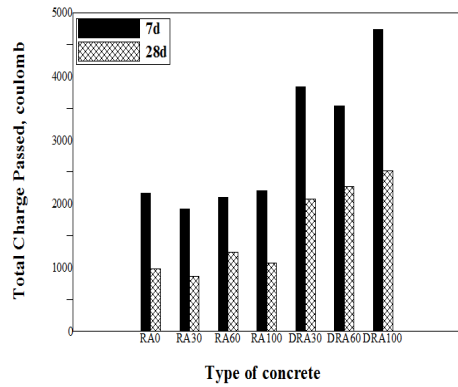


Fig. 14. Total charge passed though concrete

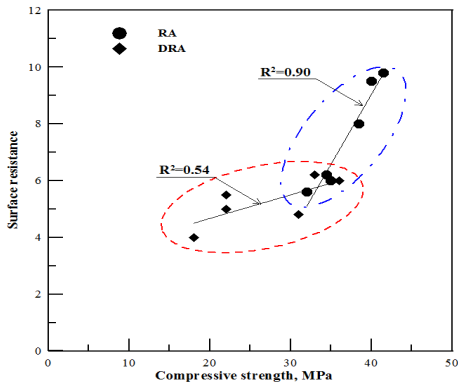


Fig. 12. Relationship between compressive and surface electrical resistance

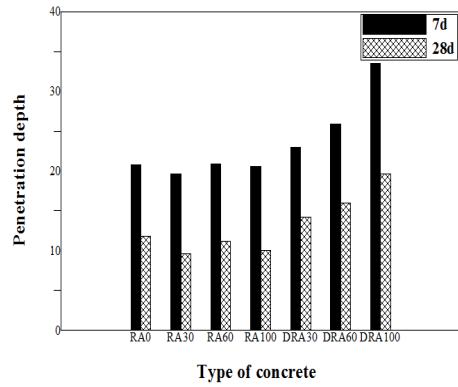


Fig. 15. Chloride penetration deep

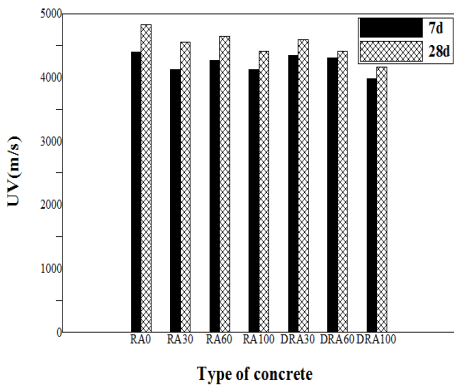


Fig. 13. Ultrasonic velocity

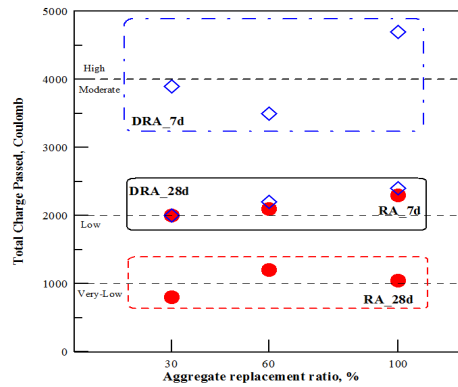


Fig. 16. Relationship between aggregate replacement ratio and coulomb

세척한 순환골재를 사용한 콘크리트에서는 콘크리트 표준시방서의 사용량에 영향이 없는 30%치환뿐만 아니라 100% 치환에서도 천연골재를 사용한 콘크리트와 유사한 결과를 나타내었다. 그러나 세척을 하지 않은 DRA 콘크리트에서는 치환율에 상관없이 높은 총통과전하량을 나타내었다.

세척 저품질 순환골재를 사용한 RA 30은 재령 28일에서 총 통과전하량이 1000coulomb 이하로 ASTM C 1202평가 기준에서 매우 낮음으로 나타나 왔다. 그러나 동일한 치환율의 비세척 저품질 순환골재의 경우는 7일과 28일 모두 세척 순환골재를 사용한 콘크리트 보다 높게 측정 되었으며, 28일에서는 약 2배 정도의 값을 나타내었다.

비세척 순환골재를 100% 치환한 콘크리트의 경우 재령 7일에서는 높음으로 나타났으며, 28일에서도 보통으로 측정되었다. 이러한 결과는 저품질 순환골재를 사용한 콘크리트에서 유사한 경향을 나타내었다. 저품질 순환골재의 사용에 있어서 유무기 이물질의 제거가 콘크리트의 염소이온의 침투에 대한 내구성에 많은 영향을 미치는 것으로 판단된다.

Fig. 15는 실험이 종료된 시험체의 염분침투 깊이를 측정된 결과로 염소이온의 총 통과전하량 측정결과와 유사한 경향을 나타내었으며, 저품질 순환골재의 사용이 다량의 유무기 이물질이 염분의 침투에 좋지 않은 것으로 판단된다.

염소이온의 총 통과전하량을 저품질 순환골재의 세척 유무에 관계없이 치환율별로 정리한 것이 Fig. 16이다. 그림에 나타난 것과 같이 세척 유무에 따른 7일 및 28일에서의 총 통과전하량의 차이가 크게 나타나는 것을 확인하였다. 세척한 저품질 순환골재의 7일 총 통과전하량이 비세척 저품질 순환골재의 28일 총 통과전하량과 유사한 결과를 나타내는 것을 확인하였다.

시간이 경과함에 따라 시멘트 경화체의 증가로 인한 밀실도가 증가하여 염소이온의 침투는 낮아지지만 초기에 염소이온을 접하는 경우는 염소이온의 침투가 크게 나타나 구조물의 내구성 확보에 문제가 있을 것으로 판단된다.

비세척 저품질 순환골재를 사용한 콘크리트의 경우 콘크리트에 적용에 있어서 적은양의 골재로 활용이 가능하지만 내구성 확보는 어려운 것으로 확인되었다.

## 4. 결론

본 연구는 콘크리트 적용 저품질 순환골재의 콘크리트 활용을 위한 공학적 특성을 평가하기 위하여 시험 분석하였으며, 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 콘크리트 적용을 위하여 저품질 순환골재의 세척을 통하여 표면의 유무기불순물을 제거하는 것만으로도 흡수율, 조립률 등의 성질이 개선되는 것으로 나타나 저품질 순환골재의 경우 세척만으로 순환골재의 물리적 성질이 개선되는 것으로 나타났다.
2. 저품질 순환골재를 사용하여 제작된 콘크리트의 압축강도 측정결과 RA 콘크리트의 경우 30~60% 천연골재와 유사한 결과를 나타내었으며, DRA의 경우 DRA30에서부터 강도가 낮아지는 것을 확인하였다. 이는 표면전기저항과 초음파 속도에서도 유사한 결과를 나타내었다.
3. 저품질 순환골재의 흡수율 측정에서는 RA30에서는 천연골재와 유사하였으나 나머지 RA60, RA100 및 DRA30~100은 모두 천연골재 보다 높은 결과를 나타내었다.
4. 저품질 순환골재사용 콘크리트의 염소이온 침투 저항성 평가에서 RA를 사용한 콘크리트는 천연골재와 유사한 1000coulomb의 결과를 나타낸 반면 DRA를 사용한 콘크리트는 모두 염소이온의 침투 저항성이 보통이상으로 나타났다.

이상을 종합하면 콘크리트용 저품질 순환골재의 적용을 위해서는 저품질 순환골재의 세척만으로도 그 품질이 개선되어 콘크리트에 사용함에 있어서는 그 활용 범위가 넓어 질 것으로 판단되며 이를 위해서는 추가적인 내구성 평가가 필요할 것으로 판단된다.

## References

- [1] J. Lee, B. C. Lee, Y. K. Cho, K. M. Park, S. H. Jung, "Carbonation Properties of Recycled Aggregate Concrete by Specified Concrete Strength", Journal of the Korean Recycled Construction Resources Institute, vol. 5, no. 1,



pp. 85-93, 2017.

[2] J. Y. Lee. "Construction waste recycling 'Recycled aggregate' Budget reduction 'effect'", <http://www.Constimes.co.kr>, 2013.11.

[3] T. S. Lee, "Study on the Application of Recycled Aggregate", Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology, pp. 1-8, 2014.

[4] Korean Ministry of Environment. "Environmental Statistics Yearbook", pp. 37-38, 2015.

[5] C. S. Poon, Z. H. Shui, L. Lam, H. Fok, and S. C. Kou, "Influence of moisture states of natural and recycled aggregates on the slump and compressive strength of concrete", Cement and Concrete Research, vol. 34, pp. 31-36, 2004.  
DOI: [https://doi.org/10.1016/S0008-8846\(03\)00186-8](https://doi.org/10.1016/S0008-8846(03)00186-8)

[6] A. Rao, K. N. Jha, and S. Misra, "Use of aggregates from recycled construction and demolition waste in concrete", Resources, Conservation and Recycling, vol. 50, pp. 71-81, 2007.  
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2006.05.010>

[7] V. W. Y. Tam, X. F. Gao, and C. M. Tam, "Micro structural analysis of recycled aggregate concrete produced from two-stage mixing approach", Cement and Concrete Research, vol. 35, pp. 1195-1203, 2005.  
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2004.10.025>

[8] C. S. Poon, Z. H. Shui, and L. Lam, "Effect of microstructure of ITZ on compressive strength of concrete prepared with recycled aggregates", Construction and Building Materials, vol. 18, pp. 461-468, 2004.  
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2004.03.005>

[9] A. K. Padmini, K. Ramamurthy, and M. S. Mathews, "Influence of parent concrete on the properties of recycled aggregate concrete", Construction and Building Materials, vol. 23, pp. 829-836, 2009.  
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2008.03.006>

[10] M. C. Rao, S. Bhattacharyya, S. Barai, "Influence of field recycled coarse aggregate on properties of concrete", Materials and Structures, vol. 44, pp. 205-220, 2011.  
DOI: <https://doi.org/10.1617/s11527-010-9620-x>

[11] S. W. Tabsh, A. S. Abdelfatah, "Influence of recycled concrete aggregates on strength properties of concrete", Construction and Building Materials, vol. 23, pp. 1163-1167, 2009.  
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2008.06.007>

[12] K. Y. Ann, H. Y. Moon, Y. B. Kim, J. S. Ryou, "Durability of recycled aggregate concrete using pozzolanic materials", Waste Management, vol. 28, pp. 993-999, 2008.  
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2007.03.003>

[13] S. Ismail, M. Ramli, "Effect of Different Moisture States of Surface-Treated Recycled Concrete Aggregate on Properties of Fresh and Hardened Concrete", International Journal of Civil, Architectural, Structural and Construction Engineering vol. 8, pp. 65-71, 2014.

[14] S. Ismail, M. Ramli, "Effects of Adding Fibre on Strength and Permeability of Recycled Aggregate Concrete Containing Treated Coarse RCA" International Journal of Civil, Architectural, Structural and

Construction Engineering vol. 8, No:8, pp. 918-924, 2014.

[15] J. Xiao, D. Lu, J. Ying, "Durability of recycled aggregate concrete", Journal of Advanced Concrete Technology, 11, 247-359, 2013.

[16] L. Evangelista, J. Brito, "Durability performance of concrete mad with fine recycled concrete aggregate", Journal of Cement & Concrete Composite, vol. 32, 9-14, 2010.  
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2009.09.005>

**이 승 태(Seung-Tae Lee)**

[정회원]



- 1999년 8월 : 한양대학교 대학원 토목공학과 (공학석사)
- 2003년 2월 : 한양대학교 대학원 토목공학과 (공학박사)
- 2006년 3월 ~ 현재 : 군산대학교 토목공학과 교수

<관심분야>

건설재료, 콘크리트 구조, 콘크리트 포장

**박 광 필(Kwang-Pil Park)**

[정회원]



- 2003년 3월 : 대전대학교 대학원 토목공학과 (공학석사)
- 2010년 8월 : 대전대학교 대학원 토목공학과 (공학박사)
- 2014년 5월 ~ 현재 : 군산대학교 토목공학과 연구교수

<관심분야>

건설재료, 콘크리트 내구성, 콘크리트 유지보수