

순환잔골재의 콘크리트 2차 제품 활용성 평가

Evaluation on the Applicability of Recycled Fine Aggregate to Precast Concrete Products

김상철^{1*} · 박도국¹ · 육근창²

Sang-Chel Kim^{1*} · Do-Kuk Park¹ · Keun-Chang Yoog²

(Received February 13, 2016 / Revised March 4, 2016 / Accepted March 7, 2016)

While the amount of construction waste has not been changed much in discharge for last 10 years, the recycled resources refined from construction waste have been mainly applied to low-levelled one such as reclamation, back-fill, road base or subbase and so on. Thus this study addresses the applicability of recycled fine aggregate as a replaceable material in precast concrete. To evaluate the possibility, both of dry and wet processes were adopted as well as steam curing, widely used in the field for rapid producing. Most important experimental parameters were driven through preliminary experiments and were evaluated in terms of concrete properties. It is found from aggregate-replacement tests that all of consistency and strengths of concrete were decreased as the ratio of recycled fine aggregate increased, and the amount of decrease can be estimated using proposed equations. Though the recycled fine aggregate showed a decrease of concrete properties more or less, the applicability in large volume as a constituent of precast product was well noted from experimental results.

키워드 : 순환잔골재, 콘크리트 2차 제품, 건식 공정, 습식 공정, 증기양생, 강도

Keywords : Recycled fine aggregate, Precast concrete products, Dry process, Wet process, Steam curing, Strength

1. 서론

국내 건설폐기물 발생현황을 살펴보면, 2013년도 건설폐기물 총 발생량은 67,219천톤으로 연도별로 다소 증감의 차이는 있지만, 과거 10년간 꾸준히 연간 6천만톤을 상회하는 것으로 나타났다(KORAS 2015). 그러나 순환골재의 활용 측면에 있어서는 Table 1에 나타난 바와 같이 건설폐기물 발생량의 72.4%를 차지하는 순환골재 48,674천톤 중 성토, 복토, 되메우기 및 뒷채움재, 도로기층이나 보조기층 등 주로 저급 사용에 치중되어 있고 콘크리트용이나 콘크리트 제품용으로서의 사용은 매우 낮은 실정이다.

이와 같이 국내 순환골재가 콘크리트용 골재로서의 활용도가 낮은 이유로는 국민적 정서상 순환골재에 대한 부정적 인식도 있겠지만, 국내 순환골재의 품질기준이 천연골재와 거의 유사한 수준을 요구하는 기준으로 설정되어 있고, 실질적 제품 생산을 통해

품질 상의 문제점 유무에 대한 실측 평가가 부족한 점이 그 활용성을 저해하는 요소로 작용하고 있는 것으로 판단된다(Kim et al, 2009; Moon et al, 2006; Shim et al, 2007). 순환골재는 투입성상에 따라 품질편차가 크기 때문에(Jeong et al, 2006) 철저한 품질 관리가 우선되어야 하는 것은 당연하지만, 지속적으로 발생하는 건설순환골재의 재활용과 국내 문제시되고 있는 골재의 부족 현상을 해결하기 위해서는 콘크리트용 순환골재의 활용에 대한 보다 적극적 대응 연구가 필요하다 하겠다.

본 연구에서는 순환잔골재의 다량 사용시 발생하는 문제점을 확인하고 그 활용성 여부를 확인하기 위하여 콘크리트 2차 제품에 대해 평가하기로 하였다. 먼저 현장에서 주로 사용되는 건식과 습식 공정을 채택하였으며, 제조 방법별 순환잔골재의 효과에 대해 알아보기로 하였다.

* Corresponding author E-mail: schkim@hanseo.ac.kr

¹한서대학교 토목공학과 (Department of Civil Engineering, Hanseo University, Chungnam, 31962, Korea)

²(주)팔마기술연구소 (Institute of Technology, Palma, Jeonbuk, 565-906, Korea)

Table 1. Circumstances for the amount of recycled aggregate in associate with each objective(KORAS 2015)

Amount		Output(ton)	Market(ton)	Custody(ton)
Grand total		48,674,015	36,893,810	11,780,205
Service as a matter of duty	Subtotal	17,578,559	14,311,164	3,267,394
	Base for road	4,423,052	3,860,226	562,827
	Subbase for road	10,305,409	8,252,173	2,053,236
	Fine aggregate for installation of drainpipe	187,035	183,738	3,297
	Recycled asphalt concrete	1,197,838	1,033,859	163,979
	Precast concrete products	1,465,224	981,169	484,055
	Subtotal	31,095,457	22,582,646	8,512,811
Service as other matters	Concrete	1,210,987	1,201,592	9,395
	Precast concrete	890,553	826,177	64,376
	Asphalt concrete	1,062,139	548,018	514,121
	Protection layer from frozen	814,300	806,470	7,830
	Road	335,697	331,398	4,298
	Dike	195,254	155,842	39,412
	Refill/Backfill	6,288,367	5,396,051	892,316
	Banking	20,255,051	13,282,063	6,972,989
	Filling for reclamation	43,109	35,035	8,074

2. 실험방법 및 계획

2.1 사용 재료

실험에 사용한 시멘트는 KS L 5201을 만족하는 H사의 1종 보통 포틀랜드시멘트를 사용하였으며 그 물리적 성질은 Table 2와 같다.

골재에 있어 천연 골재의 경우는 충남 S에서 생산되는 부순 굵은 골재와 강모래를 사용하였으며, KS F 2502 규정을 만족하는 것으로 나타났다. 사용된 굵은 골재와 잔골재의 물리적 특성은 Table 3과 같다.

천연골재의 대체재로 사용되는 순환잔골재는 경기도 이천 소재 K사에서 생산하는 관로형 순환잔골재를 사용하였으며, 입경이 커서 KS F 2502의 최소 한계범위를 벗어났다. Fig. 1(a)는 천연 잔골재 대비 관로형 순환잔골재로 대체하였을 때의 체 크기별 통과량을 백분율로 나타낸 것으로, 순환잔골재의 혼입대체비율이 클수록 최소 한계범위에 접근하며, 75% 이상 대체 치환시에는 최소 기준 한도를 초과하였다. Fig. 1(b)는 순환잔골재 대체율에 따른 조립률을 나타낸 것으로, 혼입률이 증가할수록 조립률이 커지며, 50% 이내 치환시에 F.M 2.3~3.1 범위에 있음을 알 수 있다. 본 실험에서는 관로형 순환잔골재의 혼입이 콘크리트 2차제품의 물성에 미치는 영향을 평가하기 위하여 관로형 순환잔골재의 대체 혼입률을 0~100%로 하여 실험변수를 적용하였다.

Table 2. Physical properties of cement

Specific gravity	Setting time (h:m)		Blaine (cm ² /g)	Compressive strength(MPa)		
	Initial	Final		3d	7d	28d
3.15	3:14	5:50	3,465	20.2	24.5	30.8

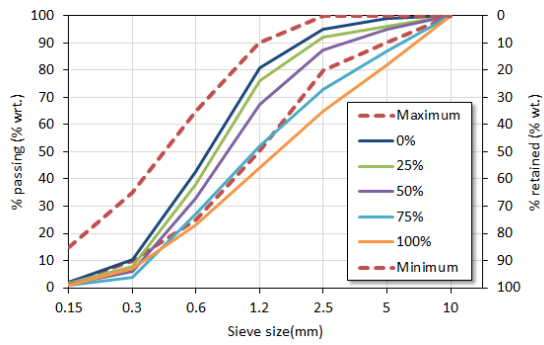
Table 3. Physical properties of aggregates

Items	FM	SSD	Absp (%)	γ_t (kg/m ³)	%vol(%)	%wash(%)
Coarse aggre.	6.71	2.67	0.55	15.62	58.1	0.8
Fine aggre.	2.50	2.58	1.14	16.09	70.2	2.6

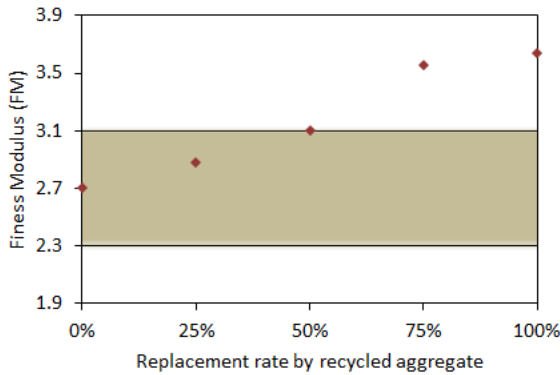
where, FM=Fineness modulus, SSD=Surface-dried specific gravity, Absp=Absorption, γ_t =Unit weight, %vol=Percentage of absolute volume, %wash=Wash-out test

2.2 실험 방법 및 변수 설정

본 실험에서는 공장에서 콘크리트 2차 제품을 제작하기 위하여 사용하는 두 가지 공정 방법을 고려하였다. 먼저 맨홀 제작과 같이 최소의 배합수를 적용하고 다짐대에서 진동다짐을 가한 후 곧바로 증기양생을 실시하는 건식방법과 일반 콘크리트 제작과 같이 컨시스턴시가 확보되도록 충분히 배합수를 적용하여 믹서기에서 믹싱한 후에 증기양생을 실시하는 습식방법에 대해 살펴보기로 하였



(a) Grading distribution curve



(b) Fineness modulus

Fig. 1. Effects of grading distribution and fineness modulus on the mixing aggregates

다. 건식의 경우는 콘크리트설계기준압축강도를 45MPa로 하였고, 습식인 경우는 일반 수로관 제작에 사용되는 27MPa로 정하였다. Table 4는 순환잔골재의 대체 효과를 검토하기 이전에 최적의 콘크리트 배합 확보를 위해 각 방법별 실험변수를 나타낸 것이고, Table 5는 그에 따른 실험변수별 배합비를 나타낸 것이다.

증기양생은 Fig. 4와 같이 전치양생 2시간, 후치양생 2시간으로 실시하며 최대 70 °C에 도달한 후의 최대온도 지속시간은 실험변수에 따라 달리하였다. 증기양생시 온도 상승 및 강하속도는 25 °C/h로 하였으며, 본 실험에서 명시한 양생시간이라 함은 전치, 온도상승, 최대온도지속, 온도강하, 후치 시간을 포함한 것이다.

3. 예비시험

3.1 건식 공정

Fig. 5는 잔골재율 40%에서의 고성능감수제 사용량에 따른 슬럼프와 공기량의 변화를 나타낸 것으로, 그림에서 보는 바와 같이 고성능감수제의 사용량이 증가할수록 슬럼프와 공기량의 상승효과가 나타나고 있음을 알 수 있다.

Table 4. Experimental parameters

Process	Items	Level	Parameters
Dry	Water/cement ratio(W/C)	2	30%, 32.8%
	Fine aggregate ratio(s/a)	2	40%, 50%
	Chemical superplasticizer (C×% wt.)	4	0%, 0.8%, 1.0%, 1.2%
	Steam curing period(hrs)	3	16hrs, 20hrs, 24hrs
	Water/cement ratio(W/C)	3	41%, 42%, 43%
Wet	Chemical superplasticizer (C×% wt.)	3	0%, 0.3%, 0.5%
	Steam curing period (hrs)	3	16hrs, 20hrs, 24hrs

Table 5. Mix design proportions for preliminary analysis

f _{ck} (MPa)	W/C (%)	s/a (%)	Unit weight(kg/m ³)				Remarks
			W	C	Coar	Fine	
45	32.8	40	155	473	1049	13.98	■ AD: 4 levels ■ Cur: 3 levels
	32.8	50	155	473	17.14	17.36	
	30	40	141.5	473	21.12	14.26	
	30	50	141.5	473	17.48	17.82	
27	41	44	148	361	1042	802	■ AD: 3 levels ■ Cur: 3 levels
	42	44	151.5	361	1037	798	
	43	44	155	361	1032	794	

W:water, C:cement, Coar:coarse aggregate, Fine:fine aggregate, AD:superplasticizer, Cur:curing time

목표로 하는 슬럼프를 40mm로 하였을 때 물-시멘트비 32.8%의 경우는 고성능감수제의 사용이 필요하지 않지만, 물-시멘트비 30%에서는 시멘트 중량의 1.2% 정도의 고성능감수제의 적용이 요구된다. 따라서 습식 배합과 같이 건식의 경우도 굳지 않은 콘크리트의 기본 물성을 맞추기 위해서는 고성능감수제의 활용이 가능하며, 그 사용량을 조절함으로써 목표로 하는 물성치 확보가 가능하다는 것을 알 수 있다.

Fig. 6은 잔골재율 40%와 50%에서 고성능감수제 변화에 따른 콘크리트 강도의 성상변화를 물-시멘트비 30%와 32.8%별로 도시한 것이다. 그림에서 보는 바와 같이, 고성능감수제의 사용량이 증가할수록 압축강도는 향상되는 것으로 나타났으며, 그 효과는 적용된 물-시멘트비와 잔골재율에 따라 다르게 나타나고 있음을 확인할 수 있다. 예를 들어 물-시멘트비 32.8% 배합에 있어 목표로 하는 설계기준압축강도 45MPa를 만족시키기 위해서는 잔골재율 50%의 경우에는 최소한 고성능감수제의 사용량을 1.2%이상 적용하여야 하였으나, 잔골재율을 40%로 낮출 경우에는 고성능감수제의 적용량을 1%로 낮추어도 45MPa를 상회하는 것으로 나타났



Fig. 2. Shaking table



Fig. 3. Steam curing

다. 특히, 사용된 물-시멘트비의 정도에 따라 잔골재율의 효과는 차이가 크게 발생하며, 물-시멘트비를 낮출수록 잔골재율의 감소 효과가 크게 발생하였다. 따라서 목표강도 확보를 위해서는 물-시멘트비 조절이외에도 잔골재율, 고성능감수제의 적절한 조정이 경제적이고 최적의 배합비 형성을 위해 필요하다는 것을 알 수 있다.

Fig. 7은 잔골재율 40%에서의 고성능감수제 적용여부에 따른 양생시간별 강도 증진 효과를 나타낸 것이다. 그림에서 보는 바와 같이, 증기양생 시간에 따른 강도증진 효과는 크지 않으며, 물-시멘트비나 감수제 사용량 영향도 거의 없는 것으로 나타났다.

3.2 습식 공정

Fig. 8은 고성능감수제의 사용량 변화에 따른 압축강도의 변화를 양생시간 16시간과 24시간 증기양생 적용별로 나타낸 것으로, 고성능감수제 사용량이 강도에 미치는 영향은 거의 없고 오히려 물-시멘트비와 양생시간이 중요한 인자로 작용하고 있음을 알 수 있다. 본 실험에서 목표로 하는 28일 강도 $f_{28}=31\text{MPa}$ (즉, $f_{ck} + 4\text{MPa}$) 확보를 위해서는 물-시멘트비 42% 이하, 증기양생시간은 24시간

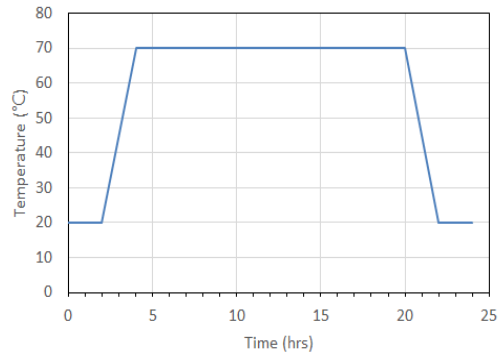
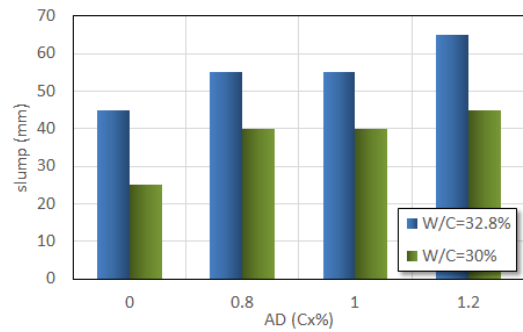
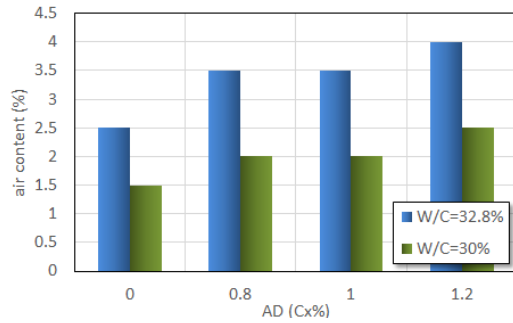


Fig. 4. Curing method



(a) Slump



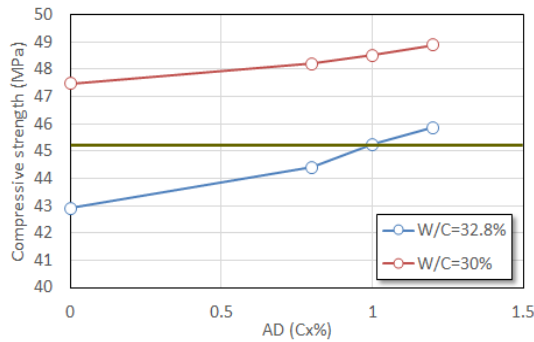
(b) Air content

Fig. 5. Slump and air content of fresh concrete using dried process(s/a=40%)

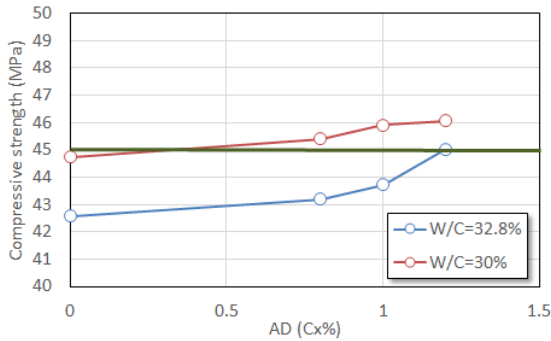
필요한 것으로 나타났다.

4. 실험결과 및 고찰

예비실험을 통한 각 건식 및 습식배합에서 각 실험변수별로 콘크리트 성상에 미치는 영향을 검토함으로써 Table 6과 같이 각각의 방법별로 최적 배합비를 도출하였으며, 다음 과정으로 순환잔골재를 천연잔골재 대비 10%씩 대체하여 그에 따른 콘크리트 물성과 역학적 특성에 미치는 영향을 고찰하여 보았다.



(a) s/a=40%



(b) s/a=50%

Fig. 6. Compressive strengths with respect with different dosages of AD

4.1 건식 공정

Fig. 9는 순환잔골재 치환에 따른 굳지 않은 콘크리트의 슬럼프와 공기량 변화를 도기한 것으로, 그림에서 보는 바와 같이 순환잔골재의 치환률이 증가할수록 슬럼프 저하와 다소의 공기량 증가가 나타났다. 따라서 순환잔골재의 대체량을 증가시킬수록 목표로 하는 슬럼프를 맞추기 위해서는 고성능감수제의 추가 사용이 필요하다는 것을 알 수 있다.

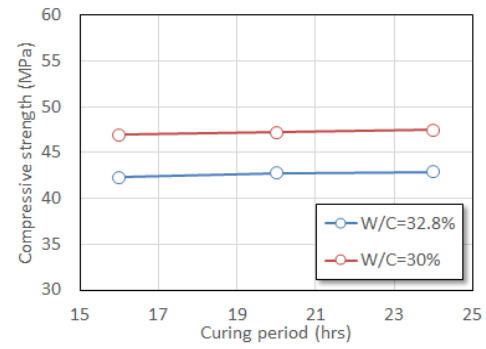
Fig. 10과 11은 각각 순환잔골재 치환률 변화에 따른 압축강도와 휨강도 특성을 도기한 것으로, 예상한 바와 같이 순환잔골재의 치환률이 증가할수록 압축강도와 휨강도의 강도저하가 발생하였다. 순환잔골재 치환률에 따른 압축강도와 휨강도에 대한 강도하강 예측식은 각각 식 (1) 및 (2)와 같다.

$$f_{28} = 49 - 0.038 \times RS(\text{MPa}) \quad (1)$$

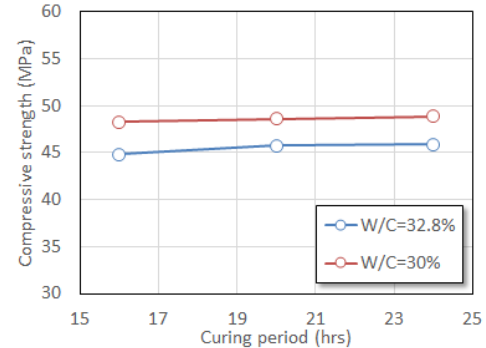
$$f_b = 8.5 - 0.019 \times RS(\text{MPa}) \quad (2)$$

여기서 RS=순환잔골재 치환률(단위 %)

Fig. 12는 천연잔골재를 순환잔골재로 치환함에 따른 양생방법

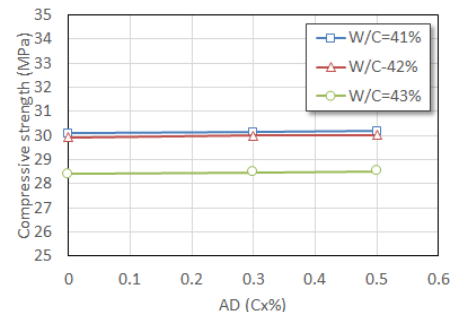


(a) AD(Cx0%)

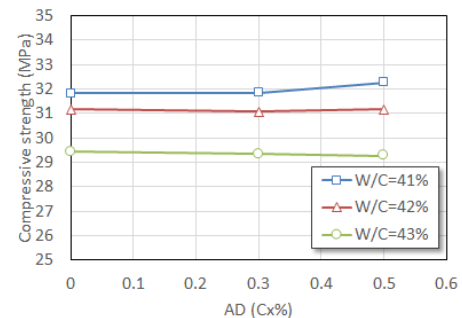


(b) AD(Cx1.2%)

Fig. 7. Effect of steam curing period(s/a=40%)



(a) 16 hrs of curing period



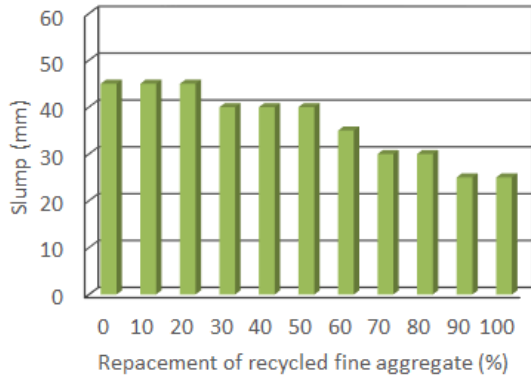
(b) 24 hrs of curing period

Fig. 8. Compressive strength vs. dosage of AD in wet process

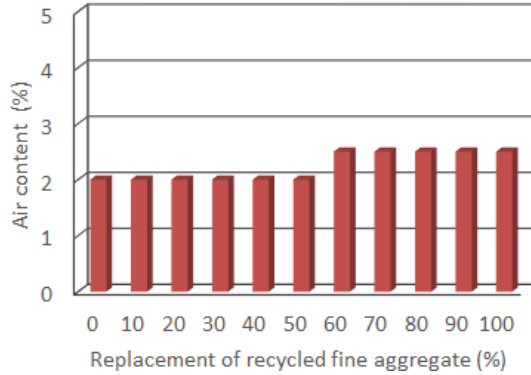
Table 6. Mix proportions for the effects of recycled fine aggregate on the concrete properties

W/C (%)	s/a (%)	Unit weight(kg/m ³)					Remarks
		W	C	S	G	AD (C×%)	
30 ¹⁾	40	141.5	473	699	1070	1.2	- Applying steam curing 24 hours
41 ²⁾	44	148	361	802	1042	0.5	- Replacing every 10%

Note: ¹⁾f_{ck}=45MPa(dry process), ²⁾f_{ck}=27MPa(wet process)



(a) Slump



(b) Air content

Fig. 9. Characteristics of fresh concrete associated with replacement of recycled fine aggregate

별 압축강도와 휨강도의 변화 추이를 나타낸 것으로 수중양생 시에 다소 강도 증진 효과가 보이고 있다. 그러나 기대한 바와 달리 양생 방법에 따른 강도변화는 그리 크지 않으며 순환잔골재의 치환률과도 관계가 없는 것으로 나타났다. 증기양생 대비 수중양생시 압축 강도는 0.2%~0.8%, 휨강도는 1.4%~6.4%의 증진효과를 보였다.

4.2 습식 공정

습식 공정의 경우도 Fig. 13에서 보는 바와 같이 건식 공정처럼

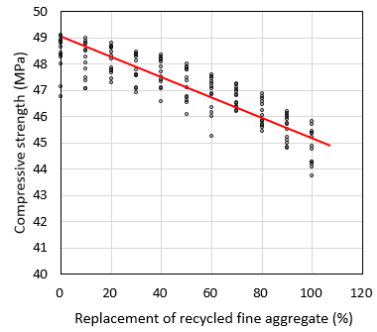


Fig. 10. Compressive strength vs. replacement ratio by recycled fine aggregate in hardened concrete(dry)

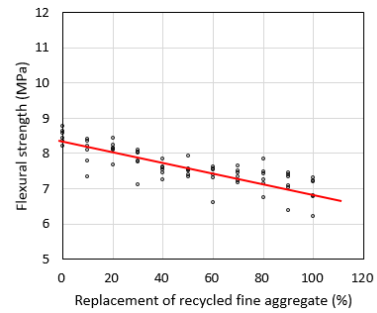
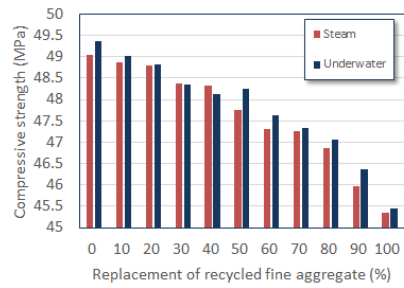
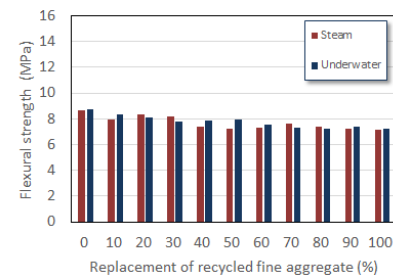


Fig. 11. Flexural strength vs. replacement ratio by recycled fine aggregate in hardened concrete(dry)



(a) Compressive strength



(b) Flexural strength

Fig. 12. Characteristics of strength with application of different curing methods

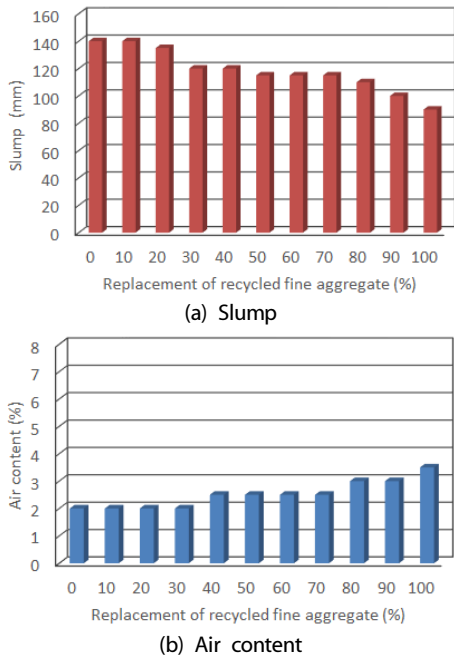


Fig. 13. Characteristics of fresh concrete associated with replacement of recycled fine aggregate(wet mix)

순환잔골재의 치환률이 증가할수록 슬럼프는 감소하고 공기량은 다소 증가하는 경향을 보였다.

Fig. 14는 천연잔골재 대비 순환잔골재로 대체 치환하였을 때의 압축강도와 휨강도의 변화는 나타난 것으로, 순환잔골재의 치환률이 증가할수록 각 강도별 감소율은 압축강도는 5%, 휨강도는 2.5% 감소하는 것으로 나타났다. 강도저하 예측식은 다음과 같다.

$$\text{압축강도 } f_{28} = 30 - 0.05 \times RS(\text{MPa}) \quad (3)$$

$$\text{휨강도 } f_b = 6 - 0.025 \times RS(\text{MPa}) \quad (4)$$

여기서 RS는 순환잔골재 치환률(%)을 나타낸다.

Fig. 15는 양생방법에 따른 강도변화를 나타낸 것으로 앞서 견식을 이용한 실험에서는 양생방법이 강도에 미치는 영향이 없는 것으로 분석되었지만, 습식의 경우는 순환잔골재 치환률에 따라 압축강도와 휨강도의 강도확보에 차이가 있는 것으로 나타났다. 습식의 경우 28일 수중양생이 증기양생보다 강도증진효과가 있었으며, 일반적으로 수중양생대비 증기양생은 압축강도의 경우 90~93%, 휨강도는 75~91% 정도의 수준으로 평가되었다.

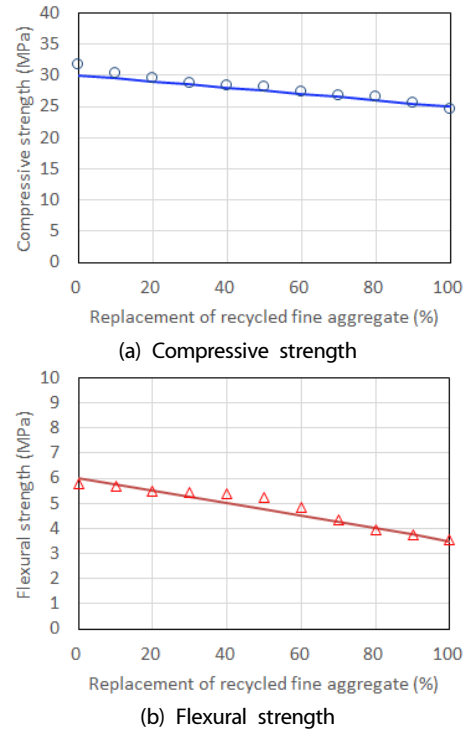


Fig. 14. Strengths of hardened concrete with replacement of recycled fine aggregate

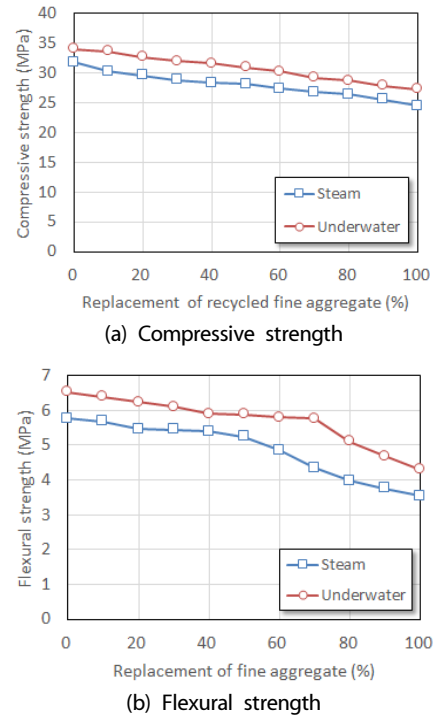


Fig. 15. Effect of curing methods(wet process)

5. 결론

순환골재의 다량활용을 위한 방안으로 본 연구에서는 콘크리트 2차 제품에서 사용되는 건식과 습식 공정을 사용하여 순환잔골재를 천연잔골재와 대체 적용함으로써 콘크리트의 성상과 역학적 평가를 통해 그 활용 가능성을 검토하였으며, 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 건식에 있어서 굳지 않은 상태에서 목표로 하는 물성값 확보를 위해서는 고성능감수제의 사용이 가능하며 강도증진에도 도움이 되는 것으로 나타났다. 실질적으로 강도 확보를 위해서는 물-시멘트비를 낮추는 것도 좋은 방법이지만, 잔골재율의 조정이 더 효과적일 수 있으므로 두 변수의 적정점을 찾는 것이 중요하다. 증기양생 적용시간은 제시된 수준에서는 큰 영향이 없는 것으로 확인되었다.
2. 습식의 경우는 일반 콘크리트 제작에서 보는 바와 같이 목표 강도와 작업성 확보를 위해서는 물-시멘트비와 고성능 감수제의 활용이 중요하게 작용되었다. 건식에서는 증기 양생기간이 강도확보에 미치는 영향이 거의 없었으나, 습식의 경우는 양생기간이 증가할수록 강도확보에 유리한 것으로 나타났다.
3. 순환골재의 다량 사용 측면에서 건식과 습식의 제조방법 모두 순환잔골재의 사용량이 증가할수록 슬럼프는 감소하고 공기량은 다소 증가하는 경향을 보이며, 이는 고성능감수제의 활용으로 조정이 가능할 것으로 판단된다. 또한 순환잔골재의 치환률이 증가할수록 압축강도와 휨강도가 저하되는 것으로 나타났으며, 본 연구에서는 순환골재의 다량 사용에 따른 강도 저하 예측식을 제안하였다.
4. 증기양생보다는 수중양생을 실시하는 것이 강도 확보 측면에서 유리하지만, 순환잔골재 치환률의 증가에 따른 강도변화의 차이는 크지 않는 것으로 나타났다. 증기양생을 통한 수중양생 강도 예측은 일반적으로 통용되는 계수를 사용하여도 무방할 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 환경부의 환경산업선진화기술개발사업(No. 201400

0150001)에서 지원받았습니다.

References

- Choi, H.B., Shin, Y.S., Ahn, S.H., Jeong, H.S., Kang, K.M. (2007). A properties and durability of recycled aggregate concrete, *Journal of AIK*, **23(9)**, 125-132 [in Korean].
- Jeon, E., Yoon, H.D., Jang, Y.H., Choi, K.S., Kim, K.H. (2008). "Effect of recycled fine aggregate quality on strength properties of concrete", 2008 Autumn Conference of KCI, 609-612 [in Korean].
- Jeong, H.S., Yang, K.H., Kim, H.H. (2006). The influence of the quality and the replacement level of recycled aggregate on the mechanical properties of concrete, *Journal of AIK*, **22(6)**, 71-78 [in Korean].
- Kim, S.W., Nah, D.S., Lee, D.W., Kim, M.K. (1996). An experimental study on the strength properties to the recycling aggregate concrete by curing condition, *Journal of KCI*, **8(2)**, 24-30 [in Korean].
- KORAS. (2015). Good Examples in Recycled Aggregate and Applied Products [in Korean].
- Moon, D.J., Choi, J.J. (2009). A study on the properties of mortar with recycled fine aggregate, *Journal of KOREC*, **4(1)**, 96-109 [in Korean].
- Park, H.K., Bae, Y.K., Lee, J.S., Kee, Y.D., Lim, N.K. (2007). Performance evaluation of structural concrete using recycled aggregate, *Journal of KIC*, **7(2)**, 85-92 [in Korean].
- Shim, J.W., Lee, S.H., Seo, C.H. (2007). "An experimental study on the affixed mortar quantity measurement method of the recycled aggregate", 2007 Spring Conference of KCI, 613-616 [in Korean].
- Yoo, M.R., Lee, J.Y., Jeong, C.W. (2009). The property estimation of fine aggregate blended with natural, crushed, and recycled fine aggregate, *Journal of AIK*, **25(11)**, 113-120 [in Korean].

순환잔골재의 콘크리트 2차 제품 활용성 평가

건설폐기물은 과거 10년 동안 큰 변동 없이 배출량이 지속되고 있는 반면, 순환자원으로의 활용은 매립과 뒤채움재, 도로기층이나 보조기층 등 주로 저급 골재로의 사용으로 국한되어 왔다. 따라서 본 연구에서는 순환잔골재의 다량 활용을 위한 방안으로 콘크리트 2차 제품의 잔골재 대체재로서의 활용성에 대해 검토하고자 하였다. 접근 방법으로는 현장에서 사용되고 있는 건식과 습식 공정과 신속한 제품생산을 위해 적용하고 있는 증기양생을 적용하였다. 예비실험을 통해 각 배합방식별로 주요 실험변수들을 도출하였으며, 이를 통해 각 변수가 콘크리트 물성에 미치는 영향을 평가하였다. 순환잔골재의 대체효과에 대한 실험에서는 대체 비율이 높을수록 건식과 습식 모두 작업성 및 강도저하가 발생되었으며 그에 따른 저하량을 예측할 수 있는 식을 제안하였다. 본 실험을 통해 다소 콘크리트 물성과 역학적 특성 저하가 나타나지만, 2차 콘크리트 제품의 구성재료로서 순환잔골재의 다량 활용이 가능하다는 것을 확인할 수 있었다.