

13mm 이하 순환굵은골재 치환이 콘크리트의 공학적 특성에 미치는 영향

Effect of the Replacement of Recycled Coarse Aggregates Under 13mm on Engineering Properties of the Concrete

한민철^{1*} · 강병희¹

Min-Cheol Han^{1*} · Byeong-Heo Kang¹

(Received March 5, 2015 / Revised March 27, 2015 / Accepted March 27, 2015)

The objective of this paper is to investigate experimentally the effect of the substitution of recycled aggregates under 13mm on the properties of the concrete using coarse aggregate with size of 13~25mm. Recycled aggregate under 13mm were substituted to the concrete ranged from 10% to 100%. To compare the properties with the case of recycled aggregate, crushed stone with smaller than 13mm was also substituted to the concrete by 20% and 40%. Test results showed that increase of recycled aggregate under 13mm resulted in the increase of slump and compressive strength compared with plain mixture, which was made with only aggregate with 13~25mm size. This is due to the dense gradation of aggregate in association with addition of relatively small particle. It is thought that the use of recycled aggregate under 13mm along with 30% contributes to the quality improvement of the concrete made with only 13~25mm aggregate.

키워드 : 순환골재, 연속입도, 갭그레이딩 콘크리트

Keywords : Recycled aggregate, Dense gradation, Gap gradation concrete

1. 서론

레디믹스트 콘크리트는 미세립자인 시멘트와 혼화재료를 포함하여 잔골재 및 굵은골재 등 입자크기별로 적정비율로 균질하게 혼합되어 제조되는 것이 기본으로 이 경우 구성재료의 크기별 연속입도로 말미암아 콘크리트의 제반 품질이 안정적으로 발현된다.

그런데, 최근 실무 레미콘 제조회사에서는 레미콘 제조시 경제적인 이유로 최대크기 25mm의 굵은골재 중 13mm 이하 크기의 골재는 아스콘용으로 전용하여 사용하고 실제로는 13~25mm 크기의 골재만을 사용하는 경우가 상당히 발생하고 있는 실정이다. 이 경우 배합상 13mm 이하 굵은골재의 부족으로 인해 잔골재가 그 부분을 채움으로서 잔골재율이 비정상적으로 높아지게 되며 그로 인해 목표 슬럼프를 만족하기 위한 단위수량의 증가로 이어지게 된다. 이는 건조수축의 증가에 따른 균열발생 증가와 압축강도 저하라는 문제점을 유발하고 있다. 따라서 이러한 비정상적인 골

재의 사용에 대한 대응방안이 요구되고 있으나, 실무 레미콘업계에서는 비용문제로 인해 13mm 이하의 골재를 레미콘에 적용하는 것을 여전히 기피하는 실정이고, 발주처의 요구조건에 의한 경우만 부분적으로 연속입도의 골재를 사용하고 있는 실정이다.

이러한 문제에 효과적으로 대응할 수 있는 대안 중의 하나로서 가격이 비교적 저렴한 순환 굵은골재를 13mm 이하로 입도선별하여 이를 기존 13~25mm 굵은골재만 사용한 레미콘에 치환 사용할 경우 원재료 크기별 적절한 입도를 유지하여 콘크리트 품질안정화에 기여할 것으로 판단된다.

따라서 본 연구에서는 레미콘 제조시 13~25mm 굵은골재만을 사용하여 제조한 콘크리트로부터 발생하는 품질문제를 해결하고자 건설폐기물로부터 발생하는 13mm 이하 순환 굵은골재를 선별하여 이를 13~25mm 굵은골재 사용 콘크리트에 치환하여 이들이 콘크리트의 공학적 특성에 미치는 영향을 실험적으로 고찰하고자 한다.

* Corresponding author E-mail: twhan@cju.ac.kr

¹청주대학교 건축공학과 (Department of Architectural Engineering, Cheongju University, Chungbuk, 360-764, Korea)

2. 실험 계획 및 방법

2.1 실험계획

본 연구의 실험계획은 Table 1과 같고 콘크리트의 배합사항은 Table 2와 같다.

Table 1. Experimental outline

Factors		Levels	
Mixture	W/C (%)	2	50, 60
	Target slump (mm)	1	150 ± 25
	Target air contents (%)	1	4.5 ± 1.5
	Coarse aggregate with less than 13 mm replacement (%)*	9	Recycled aggregate 0**, 10, 20, 30, 40, 50, 100 Crushed aggregates 20, 40
Experiment	Fresh concrete	3	Slump Air content Weight of Unit volume
	Hardened concrete	2	Compressive strength (3, 7, 28days) Drying shrinkage(until 180days)

*by mass proportion of crushed stone with bigger than 13 mm
**Plain

Table 2. Mixture proportions of concretes

Aggregate contents	W/C (%)	Water (kg/m ³)	S/a (%)	AE/C (%)	SP/C (%)	Unit weight (kg/m ³)			
						C	S	G1	G2
Re-cycled Agg.	0	175	45	0.01	0.25	350	743	949	-
	10					350	743	854	94
	20					350	743	759	189
	30					350	743	664	284
	40					350	743	569	379
	50					350	743	474	474
Crushed stone	20	175	45	0.01	0.25	350	743	-	949
	40					350	743	565	377
Re-cycled Agg.	0	175	47	0.008	0.08	291	798	939	-
	10					291	798	845	94
	20					291	798	751	187
	30					291	798	657	281
	40					291	798	563	375
	50					291	798	469	469
Crushed stone	20	175	47	0.008	0.08	291	798	-	939
	40					291	798	563	375

먼저, 물-시멘트비(W/C)는 50, 60%의 2수준에 대하여, 목표 슬럼프 150±25mm, 목표 공기량은 4.5±1.5%를 만족하도록 배합 설계하였다.

실험변수로는 W/C 2수준에 대하여 13~25mm 부순 굵은골재에 13mm 이하 크기의 순환 굵은골재를 각각 0, 10, 20, 30, 40, 50, 100% 치환하는 7수준과 성능비교를 위하여 13mm 이하의 부순 굵은골재를 각각 20, 40% 치환하는 2수준 등 총 18수준으로 실험계획 하였다. 실험사항으로는 굳지 않은 콘크리트에서는 슬럼프, 공기량, 단위용적질량을 측정하도록 하였고, 경화 콘크리트에서는 압축강도 및 건조수축 길이변화율을 측정하는 것으로 실험계획 하였다.

2.2 사용재료

본 실험에서 사용한 시멘트는 국내산 1종 보통포틀랜드 시멘트(OPC)를 사용하였고, 골재는 충남 조치원산의 부순 굵은골재 및 잔골재를 사용하였는데, 잔골재의 경우는 강모래와 부순모래를 9:1의 비율로 혼합한 혼합 잔골재를 사용하였다.

순환 굵은골재는 국내 D사산의 콘크리트용 13mm 이하 순환 굵은골재를 사용하였다. 혼화제로 고성능 감수제는 국내산 B사의 폴리칼본산계, AE제는 국내 N사의 음이온계를 사용하였는데, 각각의 물리적 성질은 Table 3~5와 같다.

Table 3. Physical properties of cement

Density (g/cm ³)	Fineness (cm ² /g)	Soundness (%)	Setting time (min.)		Compressive strength (MPa)		
			Initial	Final	3 days	7 days	28 days
3.15	3 390	0.05	230	345	24.8	39.3	56.9

Table 4. Physical properties of aggregates

Aggregates	Density (g/cm ³)	F.M	Absorption (%)	Passing 0.08 mm sieve size (%)
River sand	2.51	2.21	0.46	0.30
Crushed sand	2.53	3.26	0.46	0.32
Crushed stone (larger than 13 mm)	2.59	6.55	0.58	0.40
Crushed stone (Smaller than 13 mm)	2.59	6.48	0.58	0.40
Recycled coarse aggregate (smaller than 13 mm)	2.58	6.70	3.0	0.88

Table 5. Physical properties of chemical agents

Agents	Main ingredient	Appearance	Color	Density (g/cm ³)
High range water reducing admixture	Polycarboxylate	Liquid	Dark brown	1.05
AE agent	Negative ion	Liquid	Light dark brown	1.04

2.3 실험방법

본 연구의 실험방법으로 콘크리트 혼합은 강제식 팬타입 믹서를 사용하여 혼합하였다. 굳지 않은 콘크리트의 실험으로 슬럼프, 공기량 및 단위용적질량은 각각 KS F 2402, 2421, 2409 규정에 의거하여 실시하였다.

경화 콘크리트 실험은 압축강도 및 건조수축 길이변화율은 각각 KS F 2405, 2424 규정에 의거하여 실시하였다.

3. 실험결과 및 분석

3.1 13mm 이하 순환골재 치환에 따른 골재 입도 변화

Fig. 1은 13~25mm 부순 굵은골재에 대한 13mm 이하 순환 굵은골재의 치환율을 변화시켜 입도의 변화를 나타낸 것이다. 먼저, 13mm 이하 순환 굵은골재를 치환하지 않은 플레인 배합에서는 KS F 2526에 만족하는 입도를 나타내고 있지만, 미립자의 부족을 확인할 수 있었다. 반면에, 13mm 이하 순환 굵은골재 치환율이

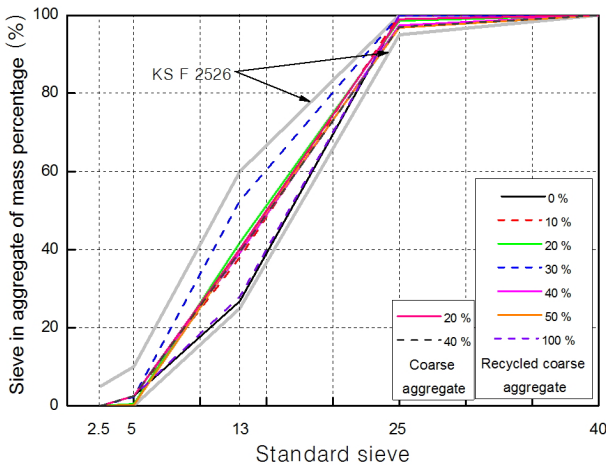


Fig. 1. Grading curve of aggregate depending on recycled aggregate under 13mm substitution

증가할수록 미립자가 보충되며 연속입도 분포가 유지됨을 확인할 수 있었다.

3.2 굳지 않은 콘크리트의 특성

Fig. 2와 3은 W/C별 13mm 이하 순환 굵은골재 치환율 증가에 따른 콘크리트의 슬럼프를 나타낸 그래프이다. 전반적으로 W/C에 관계없이 13mm 이하 순환 굵은골재의 치환율이 증가할수록 플레인 배합보다 슬럼프가 다소 증가하는 경향으로 나타났고, 치환율 20%에서 가장 높은 슬럼프를 갖는 것을 확인할 수 있었다. 당초 순환골재 치환율이 증가할 경우 골재에 부착되어 있는 미립분 및 높은 흡수율에 의해 유동성의 저하를 예상하였지만, 13mm 이하 순환 굵은골재 100% 치환을 제외하고 목표 범위를 만족하며 치환

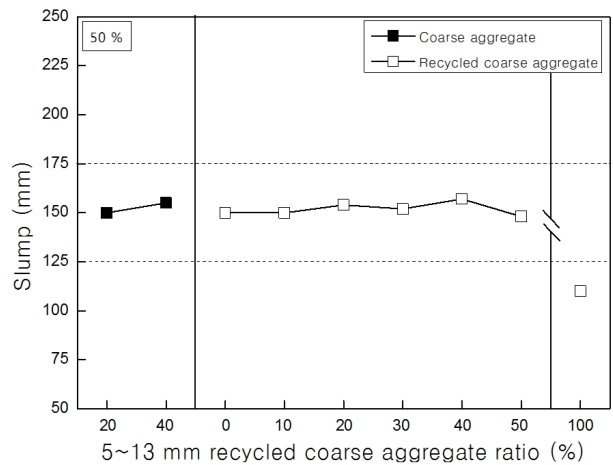


Fig. 2. Slump of concrete depending on the substitution of recycled aggregate under 13mm (W/C 50%)

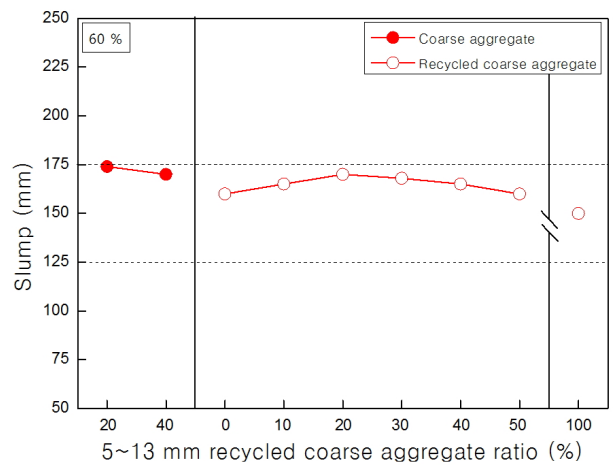


Fig. 3. Slump of concrete depending on the substitution of recycled aggregate under 13mm (W/C 60%)

율이 증가함에도 큰차이는 없는 것으로 나타났다. 이는 13mm 이하 순환 굵은골재가 치환됨에 따라 골재의 연속입도분포가 이루어지고 최밀 충전이 됨에 따라 슬럼프가 저하하지 않는 것으로 사료된다.

한편 13mm 이하 순환 굵은골재 치환과 성능비교를 위하여 동일 크기 부순 굵은골재를 20, 40% 치환한 경우도 13~25mm 부순 굵은골재만을 사용한 플레인 배합에 비하여

슬럼프가 다소 증가하며 13mm 이하 순환 굵은골재를 사용한 경우와 비교하여 유사하거나 다소 높은 값을 보임을 확인할 수 있었다. 결국, 13mm 이하 굵은골재를 치환함에 따라 골재의 종류에 관계없이 슬럼프는 13~25mm 굵은골재만 사용한 경우에 비해 연속입도에 의한 공극감소 및 최밀 충전효과로 증가하는 것으로 나타나 콘크리트 중 골재의 연속입도 유지가 중요함을 확인할 수 있

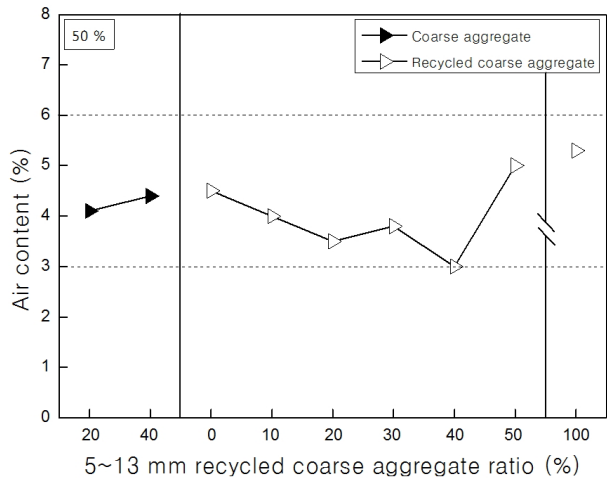


Fig. 4. Air contents of concrete depending on the substitution of recycled aggregate under 13mm (W/C 50%)

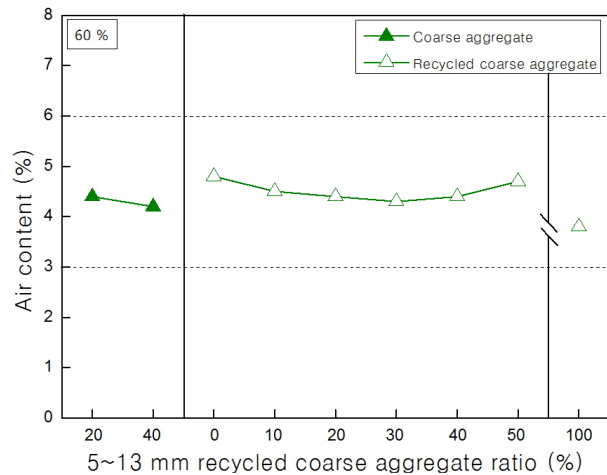


Fig. 5. Air contents of concrete depending on the substitution of recycled aggregate under 13mm (W/C 60%)

었다.

Fig. 4와 5는 W/C별 13mm 이하 순환 굵은골재 치환율 증가에 따른 공기량을 나타낸 것이다. 전반적으로 W/C에 관계없이 13mm 이하 순환 굵은골재 치환율이 증가할수록 공기량은 플레인에 비해 감소하는 것으로 나타났는데, 이는 13mm 이하 순환 굵은골재가 치환됨에 따라 콘크리트 내부에 굵은골재간의 연속입자 분포를 유지하게 되고 이로 인해 공극을 감소 및 최밀 충전으로 인해 콘크리트의 공기량이 감소하는 것으로 판단된다. 하지만, 13mm 이하 순환 굵은골재 치환율 50%이상에서는 굵은골재간의 연속입도량 증가와 순환골재 자체의 공극함유로 인해 공기량이 증가하는 것으로 사료된다.

한편, 13mm 이하 부순 굵은골재를 20, 40% 치환한 경우 플레인에 비해 역시 공기량이 감소하는 경향을 보였으며, 동일 크기의 순환 굵은골재를 동일량 치환한 경우와 비교하여 공기량은 감소하는 것으로 나타났는데, 이는 전술한 바와 같이 골재 연속입도에 의한 최밀 충전 및 순환 굵은골재 표면의 미세 공극으로 인해 나타난 결과로 사료된다.

한편, Fig. 6과 7은 13mm 이하 순환 굵은골재 치환사용에 따른 단위용적질량을 나타낸 그래프이다. 전반적으로 공기량과 마찬가지로 W/C와 관계없이 공기량의 영향으로 공기량이 감소하면 단위용적질량이 큰 차이는 아니지만 증가하는 경향을 나타냈다. 특히, W/C 50%에서 13mm 이하 순환 굵은골재 치환율 40, 50% 공기량의 차이로 단위용적질량이 증가 또는 감소하는 것으로 나타났다. 반면, W/C 60% 경우에서는 13mm 이하 순환 굵은골재의 치환에서의 공기량이 유사하여 단위용적질량이 유사한 경향을 나타내었다.

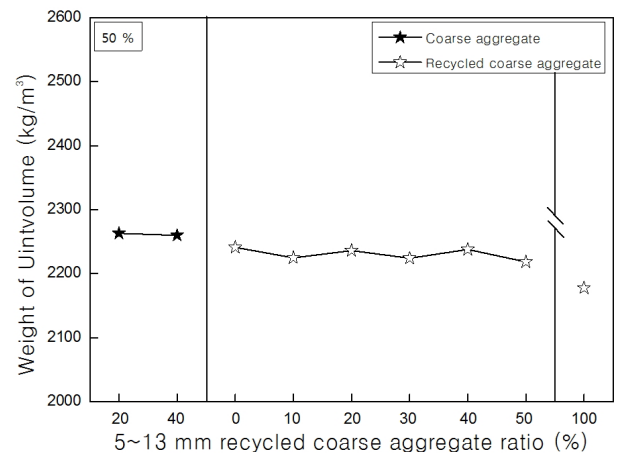


Fig. 6. Unit volume weight of concrete depending on the substitution of recycled aggregate under 13mm (W/C 50%)

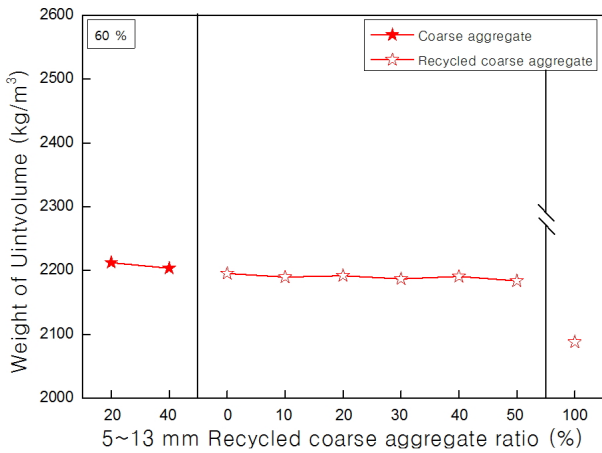


Fig. 7. Unit volume weight of concrete depending on the substitution of recycled aggregate under 13mm (W/C 60%)

3.3 경화 콘크리트의 특성

Fig. 8과 9는 W/C별 13mm 이하 순환 굵은골재 및 부순 굵은골재 치환율 증가에 따른 압축강도를 나타낸 것이다. 전반적으로 13mm 이하 순환 굵은골재 치환율이 증가함에 따라 플레인 배합보다 증가 또는 큰 차이가 없는 것으로 나타났다. 특히, 13mm 이하 순환 굵은골재 치환율 30%에서는 W/C 상관없이 재령 56일에서 플레인 배합에 비하여 약 3 MPa정도 높은 압축강도를 나타내었다. 이는 당초, 순환골재 자체의 낮은 품질로 인해 압축강도의 저하를 예상하였지만, 13mm 순환 굵은골재가 13~25mm 부순 굵은골재에 치환됨에 따라 공기량의 감소와 굵은골재의 연속입자분포의 구성으로 콘크리트 내부의 공극을 밀실하게 채워짐으로 순환골재를 사용함에 불구하고 압축강도가 증가되는 것으로 판단된다.

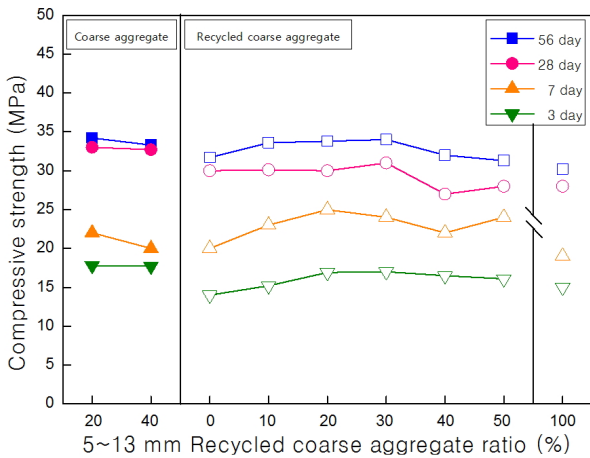


Fig. 8. Compressive strength depending on the substitution of recycled aggregate under 13mm (W/C 50%)

한편, 13mm 이하 부순 굵은골재를 20%와 40% 치환한 경우 Fig. 8과 9에서 볼 수 있듯이 플레인보다 높은 압축강도를 나타내고 있으며 동일 치환율에서의 순환 굵은골재 치환 콘크리트와 비교할 경우 전반적으로 유사하거나 약간 증가하는 경향을 보이고 있었다. 이는 결국 13mm 이하 굵은골재를 치환하여 연속입도가 구현되면 순환 굵은골재를 사용한 콘크리트도 압축강도가 부순 굵은골재를 사용한 콘크리트 수준에 도달할 수 있고 더욱이 13~25mm 굵은골재만을 사용한 콘크리트보다 10% 이상 높은 강도를 발휘할 수 있음을 보여주고 있다. 따라서 향후 13mm 이하 순환 굵은골재를 적정량 치환할 경우 현행 13~25mm 굵은골재만 사용한 콘크리트에 비해 압축강도의 향상을 기대할 수 있을 것으로 판단된다.

Fig. 10과 11은 W/C 별로 13mm 이하 순환 굵은골재 및 부순굵은

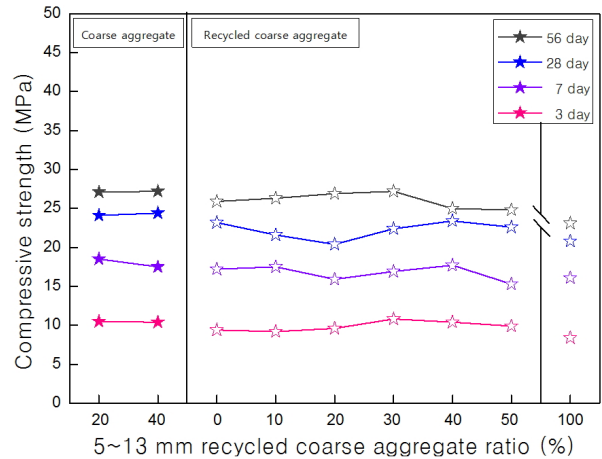


Fig. 9. Compressive strength depending on the substitution of recycled aggregate under 13mm (W/C 60%)

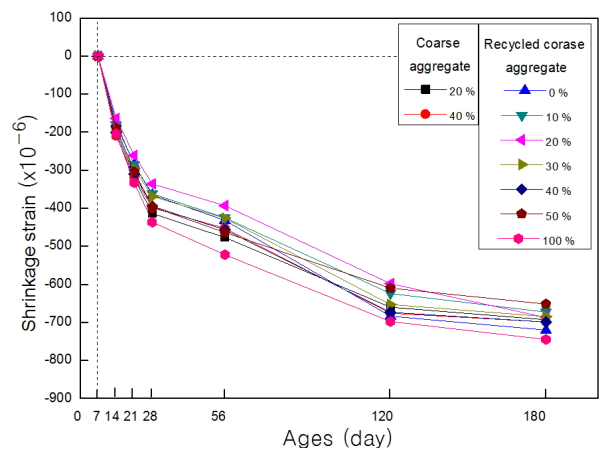


Fig. 10. Drying shrinkage depending on the substitution of recycled aggregate under 13mm (W/C 50%)

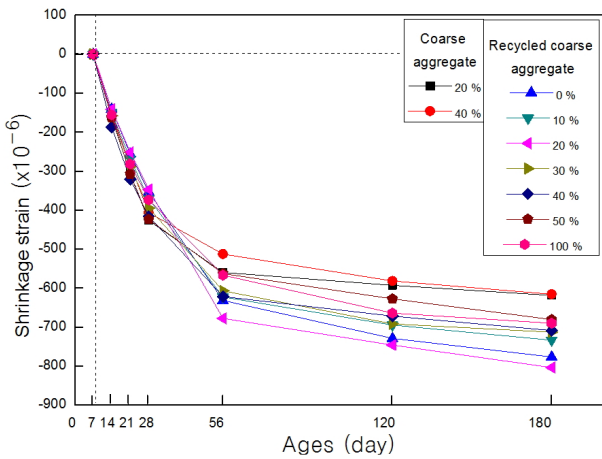


Fig. 11. Drying shrinkage depending on the substitution of recycled aggregate under 13mm (W/C 60%)

골재 치환율 증가에 따른 건조수축 길이변화율을 나타낸 것이다.

한편, 13mm 이하 부순 굵은골재를 20%와 40% 치환한 경우 Fig. 8과 9에서 볼 수 있듯이 플레인보다 높은 압축강도를 나타내고 있으며 동일 치환율에서의 순환 굵은골재 치환 콘크리트와 비교할 경우 전반적으로 유사하거나 약간 증가하는 경향을 보이고 있었다. 이는 결국 13mm 이하 굵은골재를 치환하여 연속입도가 구현되면 순환 굵은골재를 사용한 콘크리트도 압축강도가 부순 굵은골재를 사용한 콘크리트 수준에 도달할 수 있고 더욱이 13~25mm 굵은골재만을 사용한 콘크리트보다 10%이상 높은 강도를 발휘할 수 있음을 보여주고 있다. 따라서 향후 13mm 이하 순환 굵은골재를 적정량 치환할 경우 현행 13~25mm 굵은골재만 사용한 콘크리트에 비해 압축강도의 향상을 기대할 수 있을 것으로 판단된다.

한편, 13mm 이하 부순 굵은골재를 20, 40% 치환한 경우 건조수축 길이변화율은 플레인 배합에 비하여 감소하는 경향을 보였으며, 동일 치환율의 13mm 이하 순환 굵은골재를 사용한 경우와 비교할 경우 감소하거나 큰 차이가 없는 것으로 나타났다.

이상을 종합하면, 본 연구범위에서 기존에 경제성 차원에서 13~25mm 굵은골재만으로 콘크리트를 제조하는 경우 불연속입도분포에 의한 품질저하 현상을 13mm 이하 순환 굵은골재를 20~40% 내외로 치환할 경우 연속입도 및 최밀 충전효과에 기인한 유동성 개선, 압축강도 향상 및 건조수축의 감소 등 전반적인 품질향상을 기대할 수 있을 것으로 판단된다.

4. 결론

본 연구에서는 실무 레미콘사에서 레미콘 제조시 굵은골재로

13~25mm 골재만을 사용함으로써 발생하는 품질저하 문제를 해결하기 위한 방안으로 13mm 이하로 입도선별된 순환 굵은골재를 치환하여 일련의 실험을 진행하였는데, 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 13mm 이하 순환 굵은골재 치환율이 증가함에 따라 유동성이 다소 증가하는 경향을 나타내었는데, 이는 13mm 이하 순환 굵은골재를 치환함에 따라 잔입자 보충에 의한 연속입도의 구현과 최밀 충전에 의한 효과로 판단된다.
2. 공기량의 경우 W/C에 관계없이 13mm 이하 순환 굵은골재 치환율이 증가할수록 최밀 충전에 기인하여 콘크리트 내부의 공극이 감소로 공기량이 감소하였다.
3. 13mm 이하 순환 굵은골재 치환율이 증가함에 따라 굵은골재의 연속입도 분포와 최밀 충전효과에 의해 순환골재를 사용함에도 압축강도가 증가하는 것으로 나타났다.
4. 건조수축 특성으로는 13mm 이하 순환 굵은골재를 치환함에 따라 큰 차이는 아니지만 13~25mm 굵은골재만 단독사용한 플레인 배합에 비하여 감소하는 것으로 나타났다.

이상을 종합하면 기존 13~25mm 굵은골재만 단독사용하는 콘크리트의 품질저하문제를 경제적으로 해결하기 위하여 13mm 이하 순환 굵은골재를 20~40% 치환할 경우 골재의 갭그레이딩 방지로 인해 유동성 개선, 압축강도 향상 및 건조수축 저감 효과를 기대할 수 있을 것으로 사료되며, 순환골재의 활용성 증진으로 환경부하저감과 저비용으로 콘크리트의 품질을 확보할 수 있을 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 중소기업청에서 지원하는 2014년도 산학연협력 기술개발사업(NO. 2014-C0214143)의 연구수행으로 인한 결과물임을 밝힙니다.

References

Choi, K.S., You, Y.C., Yun, H.D., and Kim, K.H. (2008). "Properties of fresh concrete with recycled fine aggregate," Proceeding of the Korea Concrete institute Annual Conference, The Korea Concrete Institute, 2008(11), 373-376 [in Korean].
 Chung, H.S., Yang, K.H., and Kim, H.H. (2006). "The influence

of the quality and the replacement level of recycled aggregate on the mechanical properties of concrete,” Journal of the Architectural Institute of Korea, **22(6)**, 71–78 [in Korean].

Jo, M.K., Zhao Y., Kang, B.H., Han, M.C., and Han, C.G. (2013). “Effect of grading of coarse aggregate on the fundamental properties of concrete,” Korea Institute of Building Construction Conference Proceeding, The Korea Institute of Building Construction, Gyeongju, Korea, **13(1)**, 46–47 [in Korean].

Kim, Y.C., Bae, J.H., Shin, J.L., Nam, J.S., Yeo, J.D., and Kwak, Y.K. (2010). “A study on the mechanical properties of concrete according to substitute rate of recycled aggregate,” Proceeding of the regional association of Architectural Institute of Korea Annual Conference, The Regional Association of Architectural Institute of Korea, 2010(1), 295–299 [in Korean].

Sim, J.S., Park, C.W., Park, S.J., and Kim, Y.J. (2006). “Characterization of compressive strength and elastic modulus of recycled aggregate concrete with respect to replacement ratios,” Journal of the Korean Society of Civil Engineers, **26(1)**, 213–218 [in Korean].

Woo, J.K., and Ryu, H.G. (2007). “Analysis of basic property of sub-slab concrete mixed with recycled coarse aggregate and admixture,” Proceeding of the regional association of Architectural Institute of Korea Annual Conference, The Regional Association of Architectural Institute of Korea, **1**, 733–737.

13mm 이하 순환 굵은골재 치환이 콘크리트의 공학적 특성에 미치는 영향

본 연구에서는 현행 레미콘사에서 콘크리트 제조 시 13mm 이하 굵은골재의 부족으로 인한 품질저하가 발생하는 문제를 해결하기 위하여 13mm 이하 순환굵은골재를 치환하여 콘크리트의 제반특성을 검토하였다. 실험변수로 13mm 이하 순환 굵은골재를 13~25mm 굵은골재에 10~100%까지 치환사용하여 콘크리트의 품질에 대해 분석하였다. 실험결과 13mm 이하 순환 굵은골재 치환사용으로 유동성이 증가하였으며, 공기량은 골재간의 공극충전효과로 인해 감소하였다. 또한 골재간의 연속입도 구성으로 콘크리트 내부에 공극이 감소되어 강도의 향상과 건조수축이 감소하였다. 이상을 종합하면 13mm 이하 순환 굵은골재를 13~25mm 굵은골재만 사용한 콘크리트에 30% 내외 치환사용시 콘크리트의 품질이 향상되는 것으로 나타났다.