

TSMA 방법을 이용한 순환 굵은골재 콘크리트의 기계적 성능

권성준¹, 임희섭^{2*}, 이한승³, 임명관⁴

Mechanical Properties of Recycled Coarse Aggregate concrete using Two-Stage Mixing Approach

Seung Jun Kwon¹, Hee Seob Lim^{2*}, Han Seung Lee³, Myung Kwan Lim⁴

Abstract: As the lack of specific aggregation intensifies, the development of alternative resources is urgent. Construction waste is increasing every year, but recycled aggregate is used as a low value added material. Various studies are currently underway at the national level. In this paper, the mechanical performance of the concrete according to the concrete mixing method and the replacement amount of the circulating coarse aggregate was compared and evaluated. Concrete mixing method was normal mixing approach(NMA) method, two-stage mixing approach1 (TSMA1) method, two-stage mixing approach2 (TSMA2) method. Fresh concrete was tested for air content, slump test, and unit volume weight. Compressive strength and flexural strength were tested in hardened concrete. According to the TSMA method, the mechanical performance difference of concrete is shown, and the strength is decreased according to the circulating coarse aggregate replacement amount.

Keywords: recycled aggregate, NMA, TSMA, compressive strength, recycled aggregate concrete

1. 서 론

전 세계적으로 건설 산업으로 인한 천연자원 부족 현상이 심화되고 있다. 천연자원의 대체 재료로서 건설 폐기물에 대한 다양한 연구가 진행되어 왔다. 현재 국내의 건설폐기물의 발생량은 20 만톤/일(2015년 기준)으로 해마다 증가하고 있지만, 건설폐기물 중에서 82.3%가 폐콘크리트를 포함한 건설 폐재류로 발생되고 있다(Ministry of Environment, 2015). 또한 건설량이 증대되면서 골재자원이 부족하여 부순돌, 부순 모래 및 해사 등으로 충당함에 따라 생태환경에 큰 악영향을 끼치고 있다. 최근 섬진강 골재채취 영구금지 등 골재채취 논란으로 골재난이 심화되고 있으며, 골재 공급원 개발을 위한 국토훼손 및 자연환경 파괴 등으로 환경복원에 막대한 국가 예산 소요가 불가피한 실정이다.

현재 국가적 차원에서 골재 대체 재료로서 활발한 연구가 진행되어 왔다. 특히 폐콘크리트를 재활용하는 연구가 진행되어 왔지만, 순환 골재를 사용한 콘크리트가 소요강도를 충

족시키지 못하여 대부분 성토 및 매립재인 저부가가치적으로 사용되고 있는 실정이다(Ji et al., 2004, Song et al., 2009, Kim et al., 2016). 덴마크, 네덜란드, 일본에서는 폐콘크리트를 대상으로 재활용률이 약 80%로 기록되고 있다(Hendriks et al., 2000). 재활용률을 높이기 위해서는 다양한 유형의 건설폐기물별로 분리하여 제거하여야 한다.

일반적으로 순환 골재는 순환골재 표면에 다량으로 부착된 모르타르로 인하여 높은 흡수율과 낮은 밀도의 특성으로 콘크리트에 혼입시 내구성 저하, 압축강도 저하, 슬럼프 감소, 공기량 증가, 단위용적질량 감소 등의 기계적 성능이 저하하게 된다(Bae et al., 2010, Yang et al., 2016, Lee et al., 2012). 이에 따라 순환 골재에 부착된 모르타르를 제거하려는 연구는 다양하게 진행되어 왔다. 산성용액의 농도를 조절하여 순환 골재의 모르타르를 제거하는 방법을 모색하였지만(Kim et al., 2015), 이는 대형 설비에서 사용되기에는 환경적, 경제적 문제를 발생시킬 수 있다. 순환 골재를 대상으로 부착된 모르타르의 성분인 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 를 촉진탄산화 반응으로 최종적으로 수화물인 $\text{Ca}(\text{CO}_3)$ 를 생성하는 연구가 진행되었다(Ha et al 2016). 하지만, CO_2 농도 및 순환 골재의 모르타르 부착량, 순환 골재의 원 골재의 특성에 따른 다양한 조건으로 인하여, 정량적인 방법이 연구 진행 중에 있다.

Tam은 폐콘크리트를 대상으로 순환 골재를 재활용하기 위하여 Two-Stage Mixing Approach(TSMA) 방식으로 순환 굵

¹정희원, 한남대학교 건설시스템공학과 교수

²정희원, 한남대학교 건설시스템공학과 박사후 연구원, 교신저자

³정희원, 한양대학교 ERICA 건축학부 교수

⁴정희원, 송원대학교 건축학부 교수

*Corresponding author: heesubjm@naver.com

Department of Civil Engineering, Hannam University, Daejeon, 34430, Korea

•본 논문에 대한 토의를 2018년 8월 1일까지 학회로 보내주시면 2018년 9월 호에 토론결과를 게재하겠습니다.

은골재 치환량에 따라 연구를 진행하였다(Tam et al., 2005). TSMA 방식으로 인하여 순환 골재 콘크리트의 천이대 영역(Interfacial Transition Zones, ITZ)에 증진효과로 인하여 순환 골재 콘크리트의 강도 증진 효과를 나타냈다.

본 연구에서는 콘크리트 배합 방식 및 순환 굵은골재 치환량에 따른 콘크리트의 기계적 성능을 비교하였다. 순환 굵은골재의 물리적 성능을 평가한 후 치환량에 따라 콘크리트를 제작하였다. 콘크리트 제작 시 배합 방법을 NMA 방식, TSMA1 방식, TSMA2 방식을 이용하여 굳지 않은 콘크리트 및 경화 콘크리트의 기계적 성능을 비교 평가하였다.

2. 기존 문헌 고찰

2.1 순환골재 건식 생산 공정

순환골재를 생산하는 방식은 건식공정과 습식공정으로 나뉜다. 다음 Fig 1은 순환골재의 건식공정을 나타낸 것이다. 건식공정은 미립분 및 이물질을 풍력을 이용하여 제거하는 방식으로 폐콘크리트를 1차 및 2차 크리셔를 이용하여 파쇄 및 분쇄한다. 파쇄 및 분쇄시 밀도차를 이용하여 풍력으로 분리한 후 골재를 수집하여 집진공정을 통하여 생산하는 방식이다(Han, 2011).

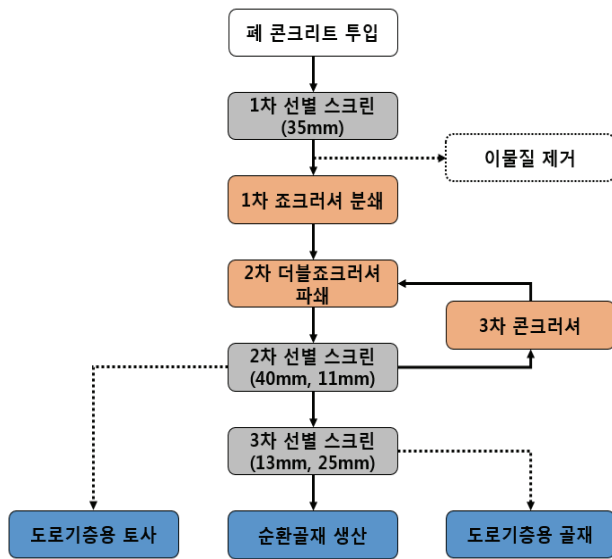


Fig 1. 순환 골재 건식 공정도

건식공정은 풍력을 이용함에 따라 미세분말이 작업장에 많이 발생하지만, 습식공정에 비해 배수처리 및 슬러지 처리가 불필요하며 설비비용이 저렴하고 집진된 미분을 도로기증용 토사로 재사용 할 수 있다.

2.2 콘크리트용 순환 골재 KS규격

콘크리트용 순환골재는 2014년에 KS F 2573(콘크리트용 순환 골재)로 개정되었으며, 2016년에 KS F 2527(콘크리트용 골재)로 통합되었다. 콘크리트용 순환골재 중 굵은골재에 대한 관련 규격을 Table 1에 나타냈다. 순환골재는 폐콘크리트를 파쇄하여 생산됨에 따라 밀도, 흡수율, 마모율, 실적률이 일반 콘크리트용 골재와 많은 차이가 발생되고 있다. 하지만, KS 규격 내에서는 순환골재에 대한 규정이 부순 골재의 기준과 동일한 것으로 나타나 있다.

Table 1 Quality standard of recycled aggregate(KS F 2527)

	Recycled coarse aggregate	Crushed coarse aggregate
Density (g/cm ³)	More than 2.5	More than 2.5
Absorption (%)	Not more than 3.0	Not more than 3.0
Stability (%)	Not more than 12	Not more than 12
Rate of Abrasion (%)	Not more than 40	Not more than 40
Rate of absolute volume (%)	More than 55	More than 55
Sieve amount 0.08mm	Not more than 1.0	Not more than 1.0

3. 재료 및 실험 방법

3.1 사용 재료

시멘트는 KS L 5201(포틀랜드 시멘트)을 만족하는 S사 보통 포틀랜드 시멘트(OPC)를 사용하였으며 시멘트의 물리적 특성은 Table 2에 나타냈다. 혼화제(Admixture)는 고성능 AE 감수제로 A사 폴리카르본산계를 사용하였으며, 다음 Table 3에 물리적 특성을 나타냈다.

잔골재는 조립율 2.76, 흡수율 1.56%의 세척사를 사용하였으며, 굵은골재는 조립율 6.90, 흡수율 1.23%의 부순 골재를 사용하였다. 순환 굵은골재는 경기도 안성에서 건식공정으로 생산되고 순환 굵은골재를 사용하였다. 사용된 순환 굵은골재는 최대치수 25mm, 흡수율 3.4%, 비중은 2.46 kg/cm³, 조립율 7.33으로 다음 Table 4는 사용 골재의 물리적 성질을 나타낸 것이다. 순환 굵은골재는 일반 쇄석에 비해 비중이 낮으며, 흡수율은 높게 나타나고 있다.

다음 Fig 2와 Fig 3은 잔골재 및 굵은골재의 입도분포 곡선을 나타냈다. 체가름 시험 결과 순환 굵은골재는 KS규격 범위에서 일부 벗어나고 있었으며, 9.5mm 사이즈에 다량 잔류하고 있다.

Table 2 Physical properties of cement

Type	Density	Blaine (cm ² /g)	Setting time (h : m)		Compressive strength (MPa)		
			initial	final	3d	7d	28d
OPC	3.15	3,000	3:20	5:50	12.5	22.5	42.5

Table 3 Physical properties of admixture

Type	Main ingredient	Form	Color	Density (g/cm ³)
High performance water reducing agent	Polycarbonate	Liquid	Dark brown	1.05

Table 4 Physical properties of aggregate

Division	Washed Sand	Coarse aggregate	
		Crushed aggregate	Recycled aggregate
Size(mm)	5	25	25
Density(kg/cm ³)	2.59	2.61	2.46
Fineness Modulus	2.76	6.90	7.33
Absorption(%)	1.56	1.23	3.40

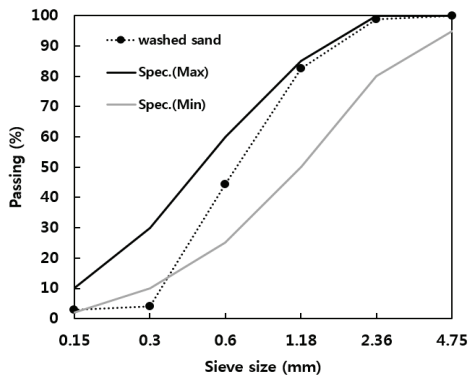


Fig. 2 Grading curves for fine aggregate

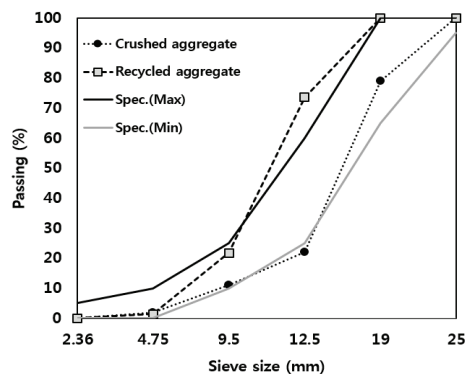


Fig. 3 Grading curves for coarse aggregate

3.2 실험 계획 및 방법

실험 계획 및 방법은 다음 Table 5에 나타났다. 콘크리트의 물리적 실험으로 굳지 않은 콘크리트에서는 KS F 2402(콘크리트의 슬럼프 시험방법)에 준하여 슬럼프 시험을 진행하였으며, KS F 2409(굳지 않은 콘크리트의 단위 용적 질량 및 공기량 시험 방법)의 콘크리트의 단위용적 질량 및 공기량 시험을 진행하였다. 경화 콘크리트 시험으로는 압축강도 시험과 휨강도 시험을 진행하였다.

본 연구에서는 3가지 배합 방식을 이용하여 실험을 진행하였다. 다음 Table 6은 콘크리트 배합방식에 대해 나타낸 것이다. NMA 방식은 일반적인 콘크리트 배합 방법으로 물, 시멘트, 잔골재, 굵은골재 및 AE감수제를 일시에 혼합하여 배합하는 방법이다. TSMA1 방식은 잔골재, 굵은골재와 물(50%)을 먼저 배합한 이후 남아있는 물(50%)과 시멘트, AE감수제를 넣고 배합하는 방법이다. TSMA2는 잔골재, 굵은골재와 물(50%), AE감수제(50%)를 먼저 배합한 이후 남아있는 물(50%), AE감수제(50%)와 시멘트를 넣고 배합을 진행하는 방식이다.

Table 5 Experimental plan of concrete

	W/C (%)	50
Mix design	Aggregate	Washed sand, Crushed aggregate, Recycled aggregate
	Replacement ratio	Recycled Coarse aggregate (0%, 50%, 100%)
	Mixing method	NMA, TSMA1, TSMA2
Test item	Fresh concrete	Slump, Air content, Unit volume weight
	Hard concrete	Compressive strength (3days, 7days, 28days, 56days), Flexural strength (28 days)

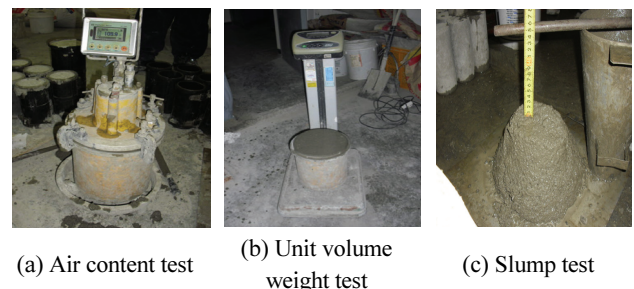


Fig. 4 Test of Fresh concrete

Table 6 Mixing method

Mixing type	Mixing method
NMA (Normal mixing approach)	$NMA : S + C + A + W + Ad. \xrightarrow{90's} Concreat$
TSMA 1 (Two-Stage mixing approach)	$TSMA_1 : A + S + W(50\%) \xrightarrow{60's} C + W(50\%) + Ad.(100\%) \xrightarrow{60's} Concrete$
TSMA 2 (Two-Stage mixing approach)	$TSMA_2 : A + S + W(50\%) + Ad.(50\%) \xrightarrow{60's} C + W(50\%) + Ad.(50\%) \xrightarrow{60's} Concrete$

S : Sand, A : Coarse aggregate, C : Cement, W : Water, Ad. : Admixture

Table 7 Mixing design of concrete

Sample	W/C (%)	S/a (%)	Unit Weight (kg/m ³)						
			W	C	S	Coarse aggregate		Ad.	
						G ¹	G ²		
NMA	NC					943.3	-		
	RAC50					470	433.3		
	RAC100					-	868		
TSMA1	NC					943.3	-		
	RAC50	50	47	181	362	824	470	433.3	3.62
	RAC100						-	868	
TSMA2	NC					943.3	-		
	RAC50					470	433.3		
	RAC100					-	868		

S : Washed sand
 G¹ : Crushed aggregate
 G² : Recycled aggregate(RA)

3.2.1 콘크리트 배합

순환 굵은골재를 사용한 콘크리트의 배합 사항은 다음 Table 7에 나타냈다. 물-시멘트비는 50%로 고정하였으며, 순환 굵은골재를 0%, 50%, 100%로 치환하여 NMA, TSMA1, TSMA2 배합방식에 따라 실험을 진행하였다. 슬럼프는 150 ± 25mm, 목포 공기량은 4.5 ± 1.5%를 만족하도록 콘크리트 배합을 실시하였다.

3.2.2 압축강도 및 휨강도

압축강도 시험을 위한 공시체는 KS F 2403 (콘크리트의 강도 시험용 공시체 제작 방법)에 준하여 Ø100×200 mm로 제작하여 KS F 2405 (콘크리트 압축강도 시험방법)에 준하여 압축강도 시험을 실시하였다. 압축강도 시험은 재령 3일, 7일, 28일, 56일간 수중양생(20 ± 2°C)을 실시 한 후 만능 재료 시험기 (Universal Testing Machine, UTM)을 이용하여 측정하였다.

휨강도 시험은 100×100×400mm로 제작하여 28일간 수중양생(20 ± 2°C)을 실시한 후 KS F 2408(콘크리트의 휨 강도 시험방법)에 준하여 만능 재료 시험기를 이용하여 측정하였다.

4. 실험 결과

4.1 굳지 않은 콘크리트

순환 골재를 사용한 콘크리트의 배합 방식에 따른 굳지 않은 콘크리트의 시험결과를 다음 Fig 5에 나타냈다. 기존 연구에 따르면 순환 골재를 사용한 콘크리트의 슬럼프는 순환 골재의 치환량 증가에 따라 슬럼프가 감소하는 경향을 나타낸다고 보고되고 있다. 그러나 본 연구에서는 순환 골재의 혼입량이 증가함에 따라 모든 배합 방식에서 슬럼프가 증가하고 있다. 이러한 결과는 순환 굵은골재의 입형에 따른 유동성 향상에 기여한 것으로 사료된다. 기존 연구에서도 순환 골재의 치환량이 증가함에 따른 슬럼프 증가에 대하여 보고되고 있다(Lee et al., 2017). 또한 배합방식에 따른 슬럼프의 차이가 나타나는 것을 확인 할 수 있었다. NMA 방식 대비 TSMA1은 슬럼프가 약 106~113% 증가하였으나, TSMA2는 약 85~90% 감소하는 경향을 나타내고 있다.

공기량 시험 결과 순환 굵은골재의 치환량 증가에 따라서도 공기량이 다소 증가하는 경향을 나타내고 있다. 기존 연구에서

는 순환 골재의 부착 모르타르로 인하여 잠재공극을 함유함에 따라 공기량이 증가하는 경향을 나타내고 있다. 공기량 비교 결과 순환 굵은골재 치환량이 0%와 비교하여 순환 굵은골재 치환량이 50%의 경우 약 117~125%, 순환 굵은골재 치환량이 100%의 경우 약 130~150% 증가하는 것으로 나타났다.

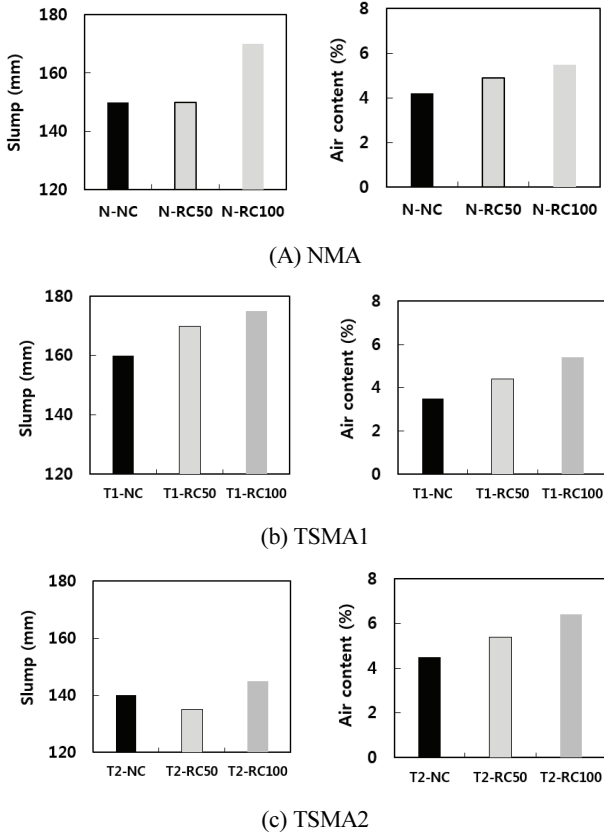


Fig 5 Test results of slump and air content test

배합 방식에 따른 비교 결과 NMA 방식과 비교하여 TSMA1은 약 83~98%로 감소하는 경향을 나타냈으며, TSMA2에서는 약 107~116% 증가하는 경향을 나타냈다.

순환 골재 치환량 및 배합 방식에 따라 슬럼프 및 공기량이 차이가 나타남을 확인 할 수 있었다.

단위용적질량 실험 결과는 다음 Fig. 6에 나타났다. 순환 굵은골재의 비중이 부순 골재보다 낮음에 따라 순환 굵은골재

치환량이 증가함에 따라 단위용적질량이 감소하는 것을 확인할 수 있다. 배합 방식에 따른 단위용적질량의 차이는 적은 것으로 사료된다.

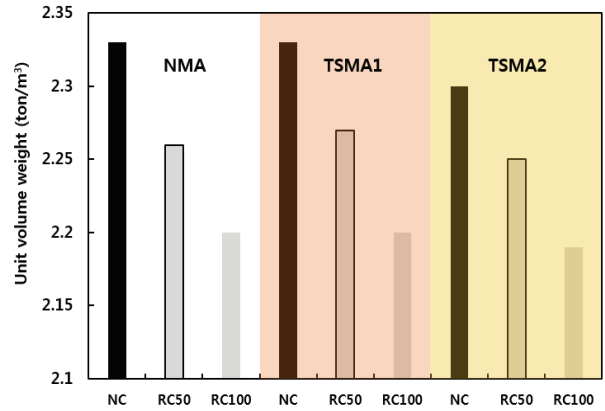


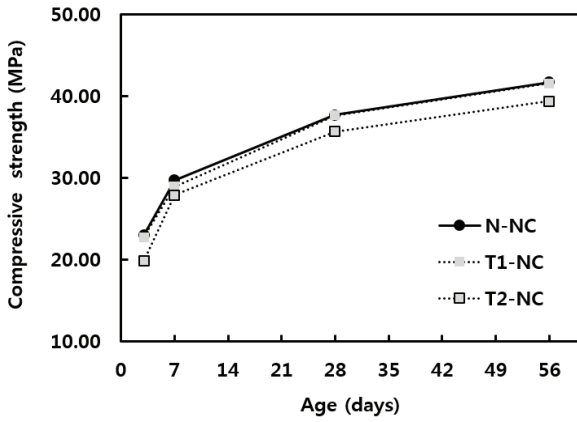
Fig 6 Test results of unit volume weight

4.2 경화 콘크리트

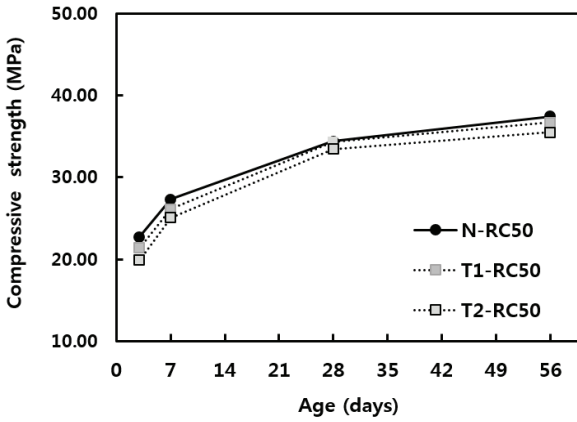
순환 굵은골재의 치환량 및 배합 방식에 따른 콘크리트의 압축강도 측정 결과는 다음 Table 8에 나타났다. 순환 골재 치환량이 증가함에 따라 감소하는 경향을 나타내고 있다. 배합 방식에 따른 재령별 압축강도 시험결과를 Fig 7에 나타냈다. 순환 굵은골재를 치환하지 않은 콘크리트의 NMA 방식에서 재령 56일에서 가장 높은 압축강도인 41.76 MPa가 나타났으며, TSMA1에서는 41.60 MPa로 약 0.4%가 감소하였으며, TSMA2에서는 39.43 MPa로 약 5.6%가 감소하는 것으로 나타났다. 순환 굵은골재 치환량을 50%와 100%에서는 NMA 방식과 비교하여 TSMA1에서는 약 2% 감소하고 있으며, TSMA2에서는 5%가 감소하는 것으로 나타났다. 기존 연구에서는 순환 굵은골재를 30% 치환함에 따라 압축강도가 증진되는 것으로 나타났지만, 본 연구에서는 TSMA 방식을 이용한 결과 강도가 감소하고 있음을 확인 하였다. 이는 치환량이 50% 및 100%로 다량으로 치환함에 따라 순환 굵은골재에 부착되어 있는 모르타르에 의해 다공성 증가가 강도에 영향을 준 것으로 사료된다.

Table 8 Test results of compressive strength

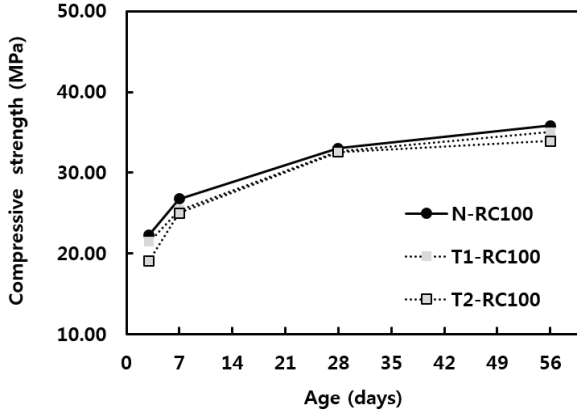
Mixing methods	%	NMA (days)				TSMA1 (days)				TSMA2 (days)			
		3	7	28	56	3	7	28	56	3	7	28	56
Compressive strength (MPa)	0	23.04	29.75	37.72	41.76	22.77	28.96	37.67	41.60	19.87	27.91	35.68	39.43
	50	22.72	27.32	34.38	37.44	21.37	26.11	34.33	36.67	19.90	25.05	33.46	35.52
	100	22.31	26.77	33.01	35.86	21.45	25.38	32.69	35.01	19.12	25.01	32.56	33.95



(a) NC



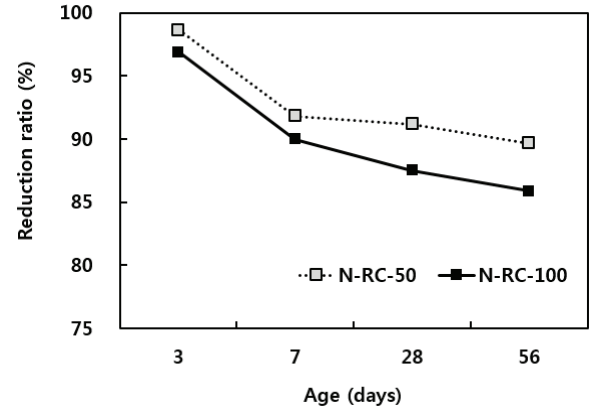
(b) RC50



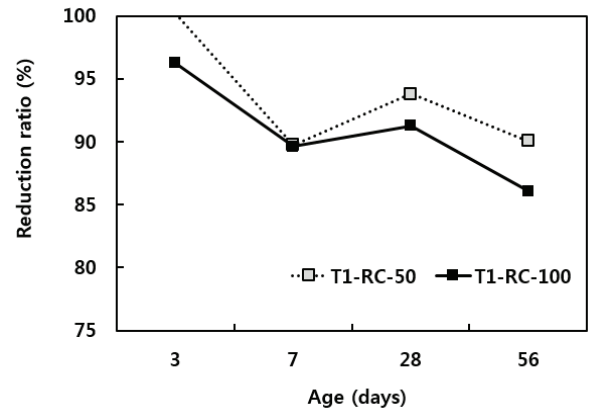
(c) RC100

Fig 7 Test results of compressive strength (Mixing type)

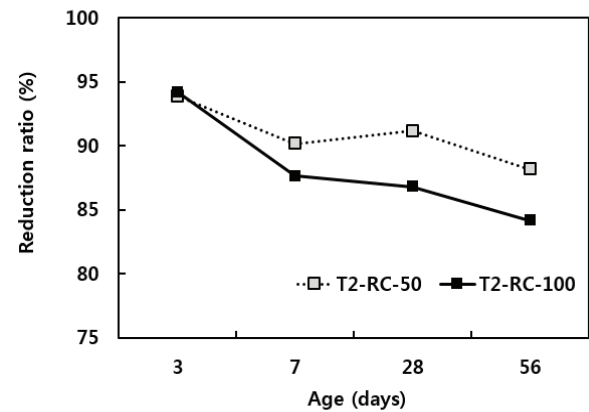
Fig 8은 순환 굽은골재 치환량에 따른 압축강도 감소율을 나타낸 것이다. 일반 콘크리트를 기준으로 배합 방식에 따라 순환 굽은골재의 치환량에 따른 변화를 비교하였다. 재령에 따라 강도 발현이 저하하고 있으며, 순환 굽은골재 치환량이 증가함에 따라 감소율이 높아지는 것을 확인 할 수 있다.



(a) NMA



(b) TSMA1



(c) TSMA2

Fig 8 Test results of reduction ratio (contents of RA)

다음 Fig 9는 휨강도 시험결과를 나타낸 것이다. 배합 방식에 따라 휨강도에서도 감소하는 것을 확인 할 수 있었다. 하지만 순환 굽은골재 치환량 50% 보다 순환 굽은골재 치환량 100%에서 휨강도가 소량 높게 나타났다. NMA 방식에서 약 3.5%, TSMA1 방식에서 약 5%, TSMA2 방식에서 8.5%로 강도가 높게 나타났지만, 모두 0.5 MPa 미만의 차이를 나타내고 있다.

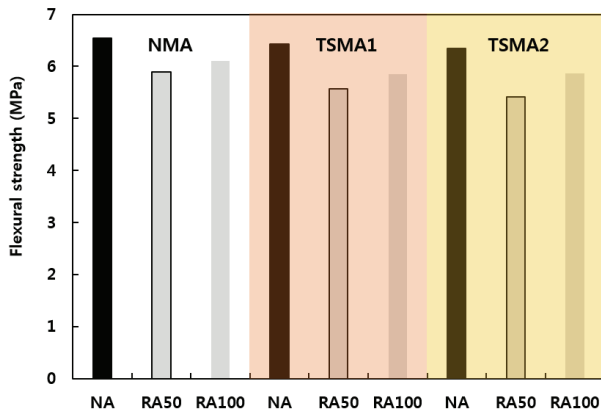


Fig 9 Test results of flexural strength

5. 결론

본 연구는 콘크리트 배합 방식을 이용한 순환 굵은골재 콘크리트의 기계적 성능을 비교하였다. 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 순환 굵은골재의 치환량에 따른 유동성을 평가한 결과 치환량이 증가함에 따라 슬럼프가 증가하고 있다. 또한 콘크리트 배합 방식에 따라 유동성이 변화하는 것을 확인 할 수 있었다. NMA 방식과 비교하여 TSMA1 방식은 약 106~113% 슬럼프가 증가하였지만, TSMA2 방식에서는 약 85~90% 감소하는 경향을 나타내고 있었다.
- 2) 공기량 시험결과 순환 굵은골재의 치환량이 증가함에 따라 공기량이 증가하는 것을 확인하였다. 또한 콘크리트 배합 방식에 따라라도 차이가 나타나는 것을 확인하였다. 순환 굵은골재의 치환량에 따라 순환 굵은골재의 부착되어 있는 모르타르로 인하여 증가하는 것으로 사료된다. 콘크리트 배합방식 비교결과 NMA와 TSMA1은 비슷한 양상으로 나타나고 있지만, TSMA2에서는 목표 공기량 보다 높은 공기량이 나타났다.
- 3) 순환 굵은골재의 치환량 및 배합 방식에 따른 콘크리트의 압축강도 비교 결과 순환 굵은골재의 치환량이 증가함에 따라 강도가 저하하는 것을 확인 할 수 있다. 또한 TSMA1, TSMA2 방식에서는 NMA 방식과 비교하여 모든 시험체에서 압축 강도가 저하하고 있었다. 기존 연구에서는 순환 굵은골재에 부착되어 있는 모르타르로 인하여 결합수에 영향을 주기 때문에 TSMA 방식에 대한 연구가 진행되었지만, 순환 굵은골재의 치환량이 50% 이상 치환됨에 따라 강도 증진효과가 나타나지 않음을 확인 할 수 있었다.
- 4) 순환 굵은골재 콘크리트의 압축강도 감소율을 비교한

결과 콘크리트 배합 방식에 따라 일반 콘크리트와 비교하여 순환 굵은골재 치환량 50%는 재령 28일 기준 약 93%의 강도를 발현하고 있으며, 재령 56일에서는 약 89%의 강도를 발현하고 있다. 또한 순환 굵은골재 치환량 100%는 재령 28일 기준 약 89%의 강도를 발현하고 있으며, 재령 56일에서는 약 88%의 강도를 발현하고 있다.

- 5) 휨강도 시험결과에서는 콘크리트 배합 방식에 따른 강도 차이가 나타나지 않았다. 또한 순환 굵은골재 치환량에 따른 휨강도의 차이도 약 0.5 MPa 미만의 차이로 유사하게 나타났다.
- 6) 본 실험에서 사용한 순환 굵은골재는 KS 규격에 만족하지 않지만, 일반 콘크리트와 비교하여 약 90%의 강도를 발현하고 있다. 현재 순환 골재에 대한 KS 규격은 콘크리트용 부순 골재 기준과 같은 실정으로 순환 골재에 대한 규격이 엄격하게 나타나고 있다. 순환 굵은골재를 다량 치환하여 사용하기 위해서는 엄격한 규격이 필요하지만, 순환 굵은골재를 소량 치환하여 사용하면 현재 KS 규격이 엄격한 것으로 사료된다.
- 7) 본 연구에서는 콘크리트 배합 방식을 변화하여 순환 굵은골재를 다량 사용할 수 있도록 기초적 연구를 진행하였다. 추후 물-시멘트비율에 따른 추가적인 연구가 필요할 것으로 사료된다.

References

- Bae J. M., 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
- Ha J. S., Shin J. H., Chung L., Kim H. S. (2016) Performance evaluation of recycled aggregate concrete made of recycled aggregate modified by carbonation, *Journal of the Korea Concrete Institute*, 28(4) 445-454.
- Han M. C. (2011) Effect of recycled aggregate powder on the fluidity and resistance to segregation of high fluidity concrete, *Construction environment research institute of Chungwoon University*, 6(2) 99-108.
- Hendriks C. F., Pietersen H. S. (2000) Sustainable raw materials: construction and demolition waste, Cachan Cedex, RILEM Publication.
- Ji K. C., Park H. G., Yun S. J., Kim C. D. (2004) A study on the efficient way of recycled aggregate, *Korea Institute of Construction Engineering and Management*, 556-560
- Kim H. S., Kim J. M., Sun J. S., Bae K. S. (2015) Quality improvement of recycled fine aggregate by neutralization reaction in water, *Journal of Korea Recycled Construction Resource Institute*, 3(2) 146-151.
- Kim S. C., Park D. K., Yoog K. C. (2016) Characteristic of cementitious mortar using high volume of recycled fine aggregate, *Journal of*

Korea Recycled Construction Resource Institute, 4(3), 235-242

Lee J., Lee B. C., Cho Y. K., Jung S. H. (2017) Carbonation properties of recycled aggregate concrete by specified concrete strength, *Journal of Korea Recycled Construction Resource Institute*, 5(1) 85-93.

Lee Y. O., Yun H. D. (2012) Shear performance of full-scale recycled fine aggregate concrete beams without shear reinforcement, *Journal of the Korea Concrete Institute*, 24(3) 225-232.

Ministry of Environment, National waste generation and disposal status, 2015.

Song H. Y., Lee S. S., Lee J. H., Lee Y. S. (2009) A study on the quality properties of recycled sand by produced dry manufacturing system and wet manufacturing system, *Journal of Korea Recycled*

Construction Resource Institute, 4(2), 74-81.

Tam V. W. Y., Gao X. F., Tam C. M. (2005) Microstructural analysis of recycled aggregate concrete produced from two-stage mixing approach, *Cement and Concrete Research* 35 1195-1203.

Yang I. H., Kim K. C. (2016) Mechanical properties and predictions of strength of concrete containing recycled coarse aggregates, *Journal of the Korea Institute for Structural Maintenance and Inspection*, 20(2) 49-59.

Received : 03/15/2018

Revised : 06/18/2018

Accepted : 06/30/2018

요 지 : 본 논문은 콘크리트 배합 방식(NMA, TSMA1, TSMA2)에 따른 순환 굽은골재 치환량에 따른 콘크리트의 기계적 성능을 비교 평가 하였다. 실험은 순환 굽은골재를 0%, 50%, 100%로 3수준으로 콘크리트의 배합 방식에 따라 실험을 진행하였다. 굳지 않은 콘크리트에서는 공기량, 슬럼프, 단위용적질량 실험을 진행하였으며, 경화 콘크리트에서는 압축강도 및 휨강도 시험을 진행하였다. 본 연구의 실험결과 NMA 방식과 비교하여 TSMA 방식에서 강도 저하가 나타나고 있음을 확인할 수 있었다. 하지만, 이는 순환 굽은골재가 다량 치환됨에 따른 것으로 사료된다. 순환 굽은골재가 다량 치환됨에 따라 슬럼프 증진, 공기량 증진, 강도 저하가 나타남을 확인하였다.

핵심용어 : 순환 골재, NMA, TSMA, 압축 강도, 순환 골재 콘크리트
