

슬럼프 고정 순환골재콘크리트의 물리적 특성 및 압축강도 추정에 관한 실험적 연구

김상현¹, 전찬수², 이세현^{3*}

An Experimental Study on the Estimation of Compressive Strength and the Physical Properties of Recycled Aggregate Concrete of Fixed Slump

Sang-Heon Kim¹, Chan-Soo Jeon², Sea-Hyun Lee^{3*}

Abstract: This study was a basic research for actual production of recycled aggregate concrete, and experiments were carried out on the change of water cement ratio and physical properties of recycled aggregate concrete with fixed slump. Results were as follows. Concrete using recycled aggregate were required increased water to maintain the target slump, and the recycled fine aggregate are necessary more increased water more than the recycled coarse aggregate. The replacement ratio of recycled fine aggregate be less than 60%, would be possible to obtain the air content volume that did not deviate from the concrete quality specification. The compressive strength of concrete using recycled aggregate decreased with increasing the replacement of recycled aggregate, and compressive strength decreased by 25% when 100% recycled fine aggregate were replaced. As a result of analyzing the correlation of compressive strength according to the mixing factors of concrete, it was found that replacement of recycled fine aggregate > water cement ratio > air content volume were influenced in order.

Keywords: Recycled aggregate, Recycled aggregate concrete, Recycled fine aggregate, Replacement ratio

1. 서 론

콘크리트는 20세기 이후 가장 널리 사용되고 있는 건설재료이며, 최근에도 그 사용량은 계속 증가하고 있다. 그러나 콘크리트를 제조하기 위한 기본 재료인 모래, 자갈의 골재는 콘크리트의 지속적인 사용에 따라 점차 부족한 실정이다. 널리 사용되었던 강모래, 강자갈은 이미 1990년대 초반에 그 공급이 부족하여 해사, 부순자갈(쇄석)으로 바뀌기 시작하였다. 그러나 최근에는 잔골재로 널리 사용되던 해사도 근거리의 해안에서 채취가 어려워져 원거리에서 채취하여 사용되고 있으며, 이 또한 최근 낮은 입도로 인해 부순모래를 섞어 사용하고 있다. 또한 굵은골재로 사용되던 쇄석도 양질의 원석을 사용하는 것이 점차 힘들어지고 있다. 다른 한편으로는 이러한 자연골재의 사용은 최근의 친환경 관점에서 바람직하지 않은 것으로 평가되고 있다.

한편, 1980·90년대 이후 우리나라는 급격한 경제적, 산업적 성장이 이루어졌으며, 더불어 도시로의 인구집중, 다양한 시설물에 대한 수요 증대, 대규모 공동주택 조성 등 수많은 건축물이 시공이 이루어졌다. 당시 건축된 시설물, 공동주택 등의 건축물들은 현재 건축 후 30년이 경과하는 시점에 이르고 있으며, 근래에 이에 대한 재건축, 재개발 및 리모델링 등이 빠르게 이루어질 것으로 전망되고 있다.

이러한 상황에서 기존 콘크리트 구조물의 해체 및 폐기과정에서 얻어내는 순환골재를 사용하는 것은 건설 폐기물의 감축, 천연자원의 대체가 가능하며, 특히 최근 심화되고 있는 골재 수급 문제와 이로 인한 콘크리트 품질 저하 우려 등을 대처하기 위한 유효한 기술로 기대될 수 있다(Kim et al., 2016; Gonzalez-Taboada et al., 2016).

순환골재의 생산은 건설폐기물 총 발생량 중 약 75%가 이루어졌으며, 도로기층용 및 성토, 복토 등의 기층재료의 활용이 85% 이상이며, 콘크리트용 골재로의 활용이 11% 수준이었다(Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology, 2014). 또한, 순환골재를 사용하는 콘크리트도 27 MPa 이하의 제품으로 한정하고, 순환골재 사용량도 30% 이하로 규정되어 있다(Korea Concrete Institute, 2016). 이는 순환골재의 품질이 콘크리트의 압축강도, 내구성 등에 크게 영향을 미쳐 유사 배합에서도 상이한 결론을 제시하는 등 아직까지 순환

¹정회원, 한국건설기술연구원 신진연구원

²정회원, 한국건설기술연구원 전임연구원

³정회원, 한국건설기술연구원 선임연구위원, 교신저자

*Corresponding author: shlee@kict.re.kr

Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology, Kyonggi-do, 10223, Korea

•본 논문에 대한 토의를 2018년 4월 1일까지 학회로 보내주시면 2018년 5월호에 토론결과를 게재하겠습니다.

골재콘크리트의 적용 및 활용이 낮은 상태에서 그 품질안정성이 명확치 않은 것에 기인하는 것으로 판단된다(Jeong et al., 2006; Jeon et al., 2009; Malešev et al., 2010; Yang and Kim, 2016; Yang and Jeong, 2016).

이에 본 연구는 자원 고갈, 환경 문제 등의 대안으로서 순환골재의 활용을 촉진하며 순환골재콘크리트의 레미콘 실생산을 위한 기초적 연구로서, 순환골재 사용량에 따른 슬럼프 고정 순환골재콘크리트의 물시멘트비 변화 및 물리적 특성을 평가하고 그 결과를 회귀분석하여 순환골재콘크리트의 압축강도 추정을 위한 단위시멘트량, 순환골재의 사용량, 물시멘트비 등 레미콘 생산 조건을 검토하고자 하였다.

2. 실험 개요

2.1 실험 계획

본 연구에서는 레미콘 배합에 의해 생산된 순환골재콘크리트의 경화 전후 특성을 평가하기 위하여, 단위시멘트량 320, 345 kg/m³에서 순환골재 치환율을 굵은골재, 잔골재 각각 0, 30, 60, 100% 수준으로 하고, 목표 슬럼프 200±25 mm로 하였다. 실험항목으로는 굳지않은 콘크리트에 대해 공기량, 슬럼프 실험을 실시하였으며, 굳은 콘크리트에 대해 재령 3, 7, 28 일 압축강도 실험을 실시하였다. 실험계획은 Table 1과 같다.

2.2 사용 재료

2.2.1 시멘트

본 연구에서는 순환골재콘크리트 시험체 제작을 위해 KS L 5201 포틀랜드 시멘트에서 규정하고 있는 밀도 3.15 g/cm³,

Table 1 Experimental plan

Factors		Levels
Unit cement contents(kg/m ³)		320, 345
Replacement ratio of recycled aggregate(%)	Find agg.	0, 30, 60, 100
	Coarse agg.	0, 30, 60, 100

Table 2 Physical properties of cement

Density (g/cm ³)	Fineness (cm ² /g)	Setting time (minute)		Compressive strength (MPa)		
		Initial	Final	3day	7day	28day
3.15	3,602	270	290	23.0	29.3	43.8

Table 3 Chemical properties of cement

CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	Ig. loss	etc.(%)
62.44	21.12	4.40	3.19	3.10	3.36	2.39

분말도 3,602 cm²/g인 1종 포틀랜드 시멘트를 사용하였으며 시멘트의 물리적, 화학적 특성은 Table 2, 3과 같다.

2.2.2 골재

본 연구에 사용된 기준 잔골재 및 굵은골재, 순환잔골재, 순환굵은골재의 품질 특성은 Table 4-6과 같으며, 순환잔골재 및 순환굵은골재의 입도곡선은 Fig. 1 및 2와 같다. 기준 잔골재는 쇠사 및 세척사를 50%씩 섞어 사용하였으며, 순환잔골재 및 순환굵은골재는 KS F 2573의 기준에 적합한 H사 제품이다. 기준 잔골재에 대해 순환잔골재는 낮은 밀도, 높은 흡수율 및 높은 조립율을 보이고 있으며, 순환굵은골재는 기준 굵은골재와 동등한 품질 특성을 보인다.

Table 4 Physical properties of aggregate

Type		Density (g/cm ³)	Unit weight (kg/L)	Absorption (%)
Fine aggregate	Crushed	2.58	1.69	0.92
	Wash	2.56	1.64	0.74
Coarse aggregate		2.61	1.52	0.67

Table 5 Physical properties of recycled fine aggregate

Type	KS F 2573	Recycled fine aggregate
Dry Density(g/cm ³)	More than 2.2	2.33
Absorption(%)	Less than 5.0	4.83
Ratio of absolute volume(%)	More than 53	62.9
Alkali aggregate reaction	Innocuous	Innocuous
Amount of clay mass(%)	Less than 1.0	0.5
Stability(%)	Less than 10	7.4
Impurity contents(%)	Organic matter	Less than 1.0
	Inorganic matter	Less than 1.0

Table 6 Physical properties of recycled coarse aggregate

Type	KS F 2573	Recycled coarse aggregate
Dry Density(g/cm ³)	More than 2.5	2.51
Absorption(%)	Less than 3.0	2.68
Ratio of abrasion loss(%)	Less than 40	27.5
Ratio of absolute volume(%)	More than 55	60.5
Alkali aggregate reaction	Innocuous	Innocuous
Amount of clay mass(%)	Less than 0.2	0.1
Stability(%)	Less than 12	7.8
Impurity contents(%)	Organic matter	Less than 1.0
	Inorganic matter	Less than 1.0

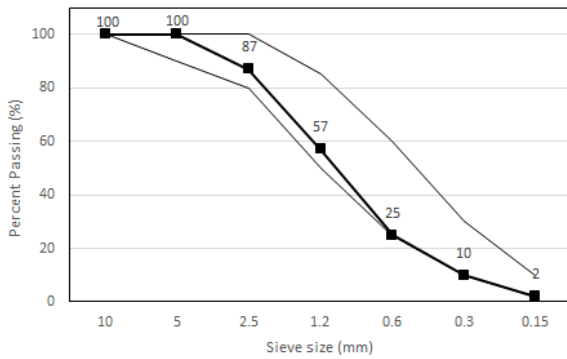


Fig. 1 Grading curves of recycled fine aggregate

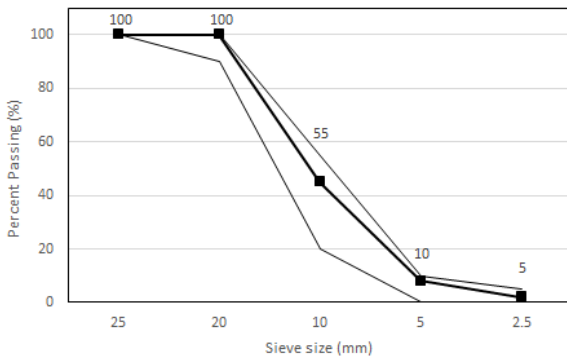


Fig. 2 Grading curves of recycled coarse aggregate

Table 7 Properties of superplasticizer

Type	Shape	Color	pH	Specific gravity	Solid content(%)
Polycarboxylate	Liquid	Dark brown	4.6	1.105	20

2.2.3 혼화제

본 연구에 사용된 혼화제는 AE 감수제 표준형을 사용하였으며 혼화제 특성은 Table 7과 같다.

2.3 배합

레미콘 실생산 적용을 고려하여 기준 콘크리트에 대한 목표 압축강도 및 슬럼프를 27 MPa 및 200 ± 25 mm로 하였으며, 예비 실험을 실시하여 기준 배합을 단위시멘트량 320, 345 kg/m³, W/C 47.5%로 설정하였다. 순환골재 치환율은 잔골재, 굵은골재 각각 0, 30, 60, 100% 수준으로 하고, 순환골재의 치환에 따라 목표 슬럼프에 도달하기 위한 수량을 조절하여 실험을 진행하였다. 본 연구에 사용된 배합은 Table 8과 같다.

2.4 실험 방법

슬럼프 실험은 KS F 2402 콘크리트의 슬럼프 시험방법에 의거하여 기준치 200 ± 25 mm로 설정 후 실시하였다, 공기량

Table 8 Mixing proportions and test results of experiment

Type	Unit weight(kg/m ³)										Compressive strength(Mpa)					
	W/C (%)	S/a (%)	Cement	Fine aggregate		Recycled aggregate		Water		Changed W/C(%)				Slump	Air content (%)	
				Crashed+washed	Coarse aggregate	Fine	Coarse	Plan	Added water		Total water					
	3d	7d	28d													
I-F00-C00					962.0	0.0			0.0	152.0	47.5	200	3.4	17.3	24.3	30.7
I-F00-C30				917.0	673.4	0.0	266.4		0.0	152.0	47.5	190	4.2	18.5	23.9	31.0
I-F00-C60					384.8		532.8		0.0	152.0	47.5	180	4.0	17.6	23.9	31.1
I-F00-C100					0.0		888.0		5.1	157.1	49.1	200	5.4	16.0	23.2	29.1
I-F30-C00					962.0		0.0		6.4	158.4	49.5	190	4.1	16.4	23.4	29.2
I-F30-C30				642.0	673.4	252.0	266.4		8.7	160.7	50.2	195	3.9	16.0	23.1	29.2
I-F30-C60					384.8		532.8		10.3	162.3	50.7	195	4.1	16.6	23.5	29.3
I-F30-C100					0.0		888.0		11.2	163.2	51.0	185	5.0	15.9	23.2	28.9
I-F60-C00	47.5	48.6	320		962.0		0.0	152.0	13.7	165.7	51.8	200	5.4	14.3	21.4	27.0
I-F60-C30				366.4	673.4	504.0	266.4		15.6	167.6	52.4	190	5.2	14.8	22.0	26.8
I-F60-C60					384.8		532.8		20.3	172.3	53.8	200	5.4	14.2	21.9	26.1
I-F60-C100					0.0		888.0		20.3	172.3	53.8	195	5.9	14.1	20.8	25.7
I-F100-C00					962.0		0.0		18.0	170.0	53.1	195	6.4	12.2	17.8	24.0
I-F100-C30				0.0	673.4	840.0	266.4		18.5	170.5	53.3	190	7.0	12.2	18.0	23.6
I-F100-C60					384.8		532.8		22.7	174.7	54.6	190	9.3	12.1	17.6	22.0
I-F100-C100					0.0		888.0		23.6	175.6	54.9	190	9.9	12.2	17.4	21.6

Table 8 Mixing proportions and test results of experiment(Continue)

Type	W/C (%)	S/a (%)	Cement	Unit weight(kg/m ³)					Water	Changed W/C(%)	Slump	Air content (%)	Compressive strength(Mpa)				
				Fine aggregate Crashed+washed	Coarse aggregate	Recycled aggregate		Plan					Added water	Total water	3d	7d	28d
						Fine	Coarse										
II-F00-C00				943.8		0.0		0.0	164.0	47.5	190	3.5	20.4	28.2	33.1		
II-F00-C30				906.6	660.7	0.0	261.4	2.2	166.2	48.2	195	3.7	20.0	28.5	33.5		
II-F00-C60			377.5		522.7	4.0	168.0	48.7	195	3.8	20.9	29.6	33.0				
II-F00-C100			0.0		871.2	5.1	169.1	49.0	200	5.1	19.7	27.7	32.6				
II-F30-C00				943.8		0.0		6.7	170.7	49.5	210	3.3	18.5	24.0	30.3		
II-F30-C30				634.6	660.7	249.1	261.4	6.9	170.9	49.5	200	5.3	18.9	24.4	29.9		
II-F30-C60			377.5		522.7	10.2	174.2	50.5	200	4.3	18.9	24.7	30.1				
II-F30-C100			0.0		871.2	13.2	177.2	51.4	205	5.2	18.2	23.9	28.9				
II-F60-C00	47.5	48.6	345		943.8		0.0	164.0	8.2	172.2	49.9	200	4.8	18.0	23.4	29.2	
II-F60-C30				382.6	660.7	498.2	261.4	8.7	172.7	50.1	190	5.2	17.0	23.5	29.3		
II-F60-C60			377.5		522.7	12.9	176.9	51.3	205	4.7	17.5	23.1	28.8				
II-F60-C100			0.0		871.2	14.8	178.8	51.8	200	5.3	17.8	22.4	28.4				
II-F100-C00				943.8		0.0		14.5	178.5	51.7	195	6.9	14.0	22.0	25.7		
II-F100-C30				0.0	660.7	830.4	261.4	15.1	179.1	51.9	195	8.3	13.3	20.5	25.1		
II-F100-C60			377.5		522.7	17.0	181.0	52.5	195	8.9	14.3	21.3	25.3				
II-F10-C100			0.0		871.2	20.5	184.5	53.5	205	8.3	13.0	21.3	24.4				

은 KS F 2421 압력법에 의한 굳지 않은 콘크리트의 공기량 시험 방법에 준하여 실시하였으며 기준으로 순환잔골재 사용에 따라 5.5±1.5%로 설정하였다. 또한 경화 콘크리트에 대해 KS F 2405 콘크리트의 압축강도 시험 방법에 따라 재령 3, 7, 28 일의 압축강도를 측정하였다.

3. 실험결과 및 고찰

본 연구에서는 순환골재콘크리트의 레미콘 실생산의 기초적 자료의 제시를 목적으로 레미콘 생산방식과 유사하게 목표 슬럼프를 만족하기 위해 수량의 후 투입으로 실험을 진행하였는데 이에 따른 각 실험결과는 Table 8과 같다.

3.1 슬럼프 및 추가투입 수량

최근 현장에서의 요구조건 및 경시에 따른 감소 등을 감안하여 초기값에 대한 목표 슬럼프 200±25 mm를 설정하였으며, 목표 슬럼프를 만족시키기 위해 각 배합은 필요한 경우 수량의 첨가가 진행되었으며, 그 결과는 Fig. 3과 같다.

실험 결과, 목표 슬럼프를 유지하기 위해서는 순환골재의 치환량이 증가함에 따라 수량의 증가가 요구되는 것으로 나

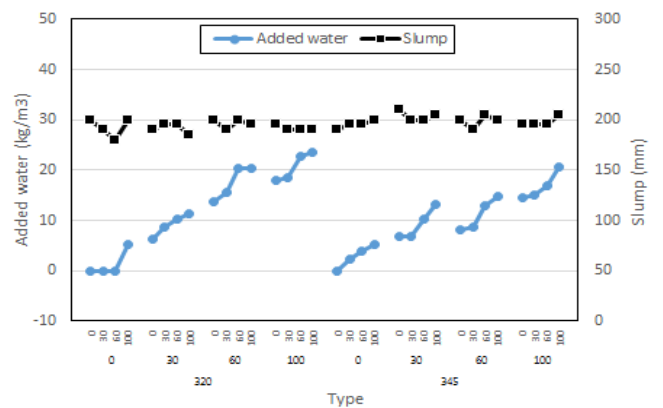


Fig. 3 Change of added water at fixed slump

타나, 단위시멘트량 320 kg/m³의 경우, 순환골재 치환율이 30, 60, 100%로 증가함에 따라 1.2, 3.8, 5.5 kg/m³의 단위수량의 증가가 필요하였으며 순환골재에서는 7.9, 16.2, 19.4 kg/m³ 증가가 나타났다. 순환골재의 치환과 순환잔골재의 치환을 비교하면 순환잔골재의 치환시 더 많은 단위수량의 증가가 필요한 것으로 나타났으며, 이는 순환골재가 파쇄에 의해 생산되어 기준 잔골재인 쇄사 및 세척사보다 거친 입형을 갖는 것에 기인한 것으로 순환골재 치환율의 증가는 슬럼프 등의 특성에 불리하며 특히 높은 치환율에서 더욱 더는 기

존 연구 결과와 부합한다(Ryou and Song, 2011; Kim et al., 2016).

한편, 단위시멘트량 345 kg/m³에서는 순환골은골재 및 순환잔골재 치환율이 증가함에 따라 추가된 단위수량은 0.9, 3.7, 6.1 kg/m³ 및 6.4, 8.3, 14.0 kg/m³으로 나타났다. 이를 통해 단위시멘트량이 320 kg/m³에서 345 kg/m³으로 증가함에 따라 순환골은골재 치환시 요구되는 단위수량은 거의 변화가 없었으나, 순환잔골재의 경우 요구 단위수량이 다소 감소하는 것으로 나타났다.

3.2 공기량

슬럼프 고정 순환골재 치환율에 따른 공기량 측정 결과는 Fig. 4와 같으며, 순환잔골재 100% 치환율의 배합을 제외하면, 순환골은골재 및 순환잔골재의 치환율의 증가에 따라 유사하거나 소폭 증가하는 것으로 나타나 순환골은골재의 경우 100%, 순환잔골재의 경우 60%까지 치환하여도 콘크리트 품질에 큰 영향이 없을 것으로 판단된다. 다만, 순환잔골재 100%치환시 굳지않은 콘크리트의 공기량이 크게 증가하여 6%~9%의 공기량을 보이는 것으로 나타났다.

3.3 압축강도

3.3.1 물시멘트비

본 실험은 목표 슬럼프를 만족시키기 위해 배합별 추가수량을 투입하였으며, 이에 따른 수정된 물시멘트비와 압축강도에 대한 상관관계를 도시한 결과는 Fig. 5 및 6과 같다.

본 실험에서의 물시멘트비는 47.5~54.9%로 변화하였으며, 이에 따른 압축강도는 단위시멘트량에 따라 30.7~21.7 및 33.1~24.4 MPa로 감소하는 경향을 보였으며, 회귀분석 결과 R²값은 0.89의 높은 상관계수를 나타냈다.

3.3.2 순환골재 치환율

단위시멘트량 320 kg/m³인 배합의 순환골재 치환율에 따른 압축강도는 Fig. 7과 같으며, 재령 28일 압축강도는 기준배

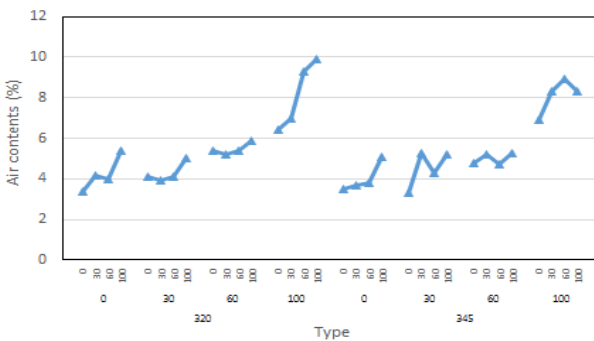


Fig. 4 Result of air content

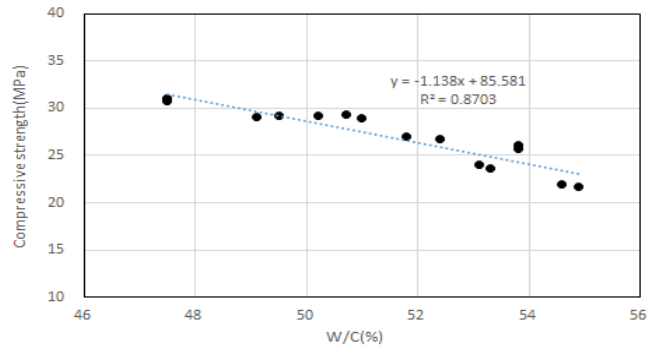


Fig. 5 Correlation between w/c and compressive strength(320 kg/m³)

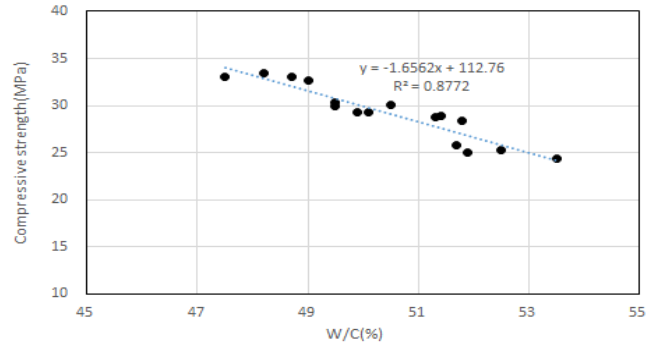


Fig. 6 Correlation between w/c and compressive strength(345 kg/m³)

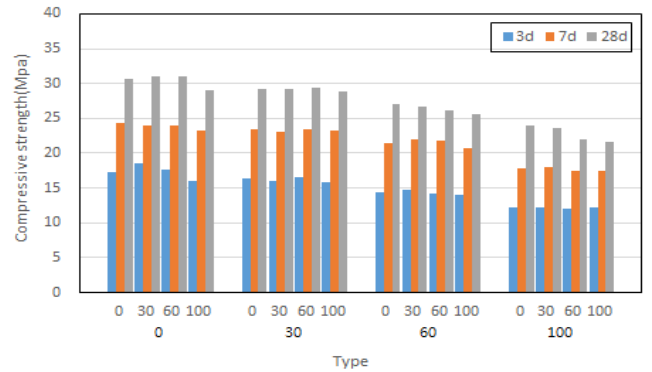


Fig. 7 Result of compressive strength(320kg/m³)

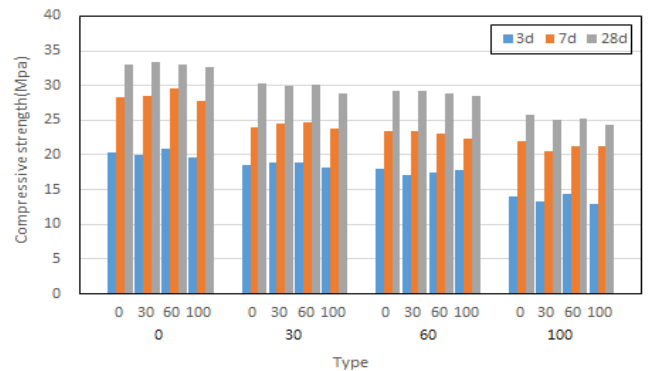


Fig. 8 Result of compressive strength(345 kg/m³)

합 30.7 MPa에 대해 순환골재별 치환에 따라 31.1~ 21.6 Mpa를 보였다. 순환굵은골재의 경우 60% 치환까지는 유사한 수준을 나타내었으나, 100% 치환의 경우에는 평균 5.2%의 강도 저하가 발생하였다. 반면, 순환잔골재를 치환하는 경우에는 치환율이 30, 60, 100%로 증가함에 따라 평균 4.3, 13.4, 25.2% 감소하는 것으로 나타났다.

단위시멘트량 345 kg/m³의 재령별 압축강도는 Fig. 8과 같으며, 재령 28일 압축강도는 기준배합 33.1 MPa에 대해 순환골재별 치환에 따라 33.5~24.4 Mpa를 보였으며, 320 kg/m³과 마찬가지로 순환굵은골재 치환에서는 유사하거나 약간 낮은 압축강도를 보인 반면, 순환잔골재를 치환하는 경우에는 평균 9.9, 12.4, 24.0%씩 감소하는 것으로 나타나, 순환굵은골재의 치환보다 순환잔골재의 치환이 콘크리트의 압축강도에 불리한 영향을 미치는 것으로 나타났다. 이는 순환굵은골재의 경우 기존 콘크리트의 굵은골재로 표면에 일부 기존 모르타르가 부착된 형태로 전체적인 품질이 일반 굵은골재와 유사한 반면, 순환잔골재는 기존 콘크리트 중 모르타르의 파쇄입자로 잔골재 및 페이스트가 혼재된 형태이며, 기존 잔골재에 비해 낮은 밀도, 높은 흡수율의 품질 특성을 갖는 것에 기인한 것으로 판단된다.

3.4 상관관계 분석

본 실험은 순환골재콘크리트의 레미콘 실생산을 위한 기초적 연구로서, 단위시멘트량을 고정된 기준 배합에 대해 순환골재별 치환율 및 목포 슬럼프를 위한 단위수량 조정을 인자로 하여 실험을 진행하였다. 본 절에서는 Table 8의 데이터에 대하여 각 측정 항목별 상관관계를 분석하였으며 그 결과는 Tables 9 및 10과 같다.

각 단위시멘트량에서의 재령 28일 압축강도에 대한 각 인

Table 9 Results of multitrait-multimethod correlation(320kg/m³)

	S28	Fine	Coarse	W/C	Air	Slump
S28	1					
Fine	0.964** .000	1				
Coarse	0.177 0.511	0.000 1.000	1			
W/C	0.933** 0.000	0.926** 0.000	0.269 0.313	1		
Air	0.929** 0.000	0.822** 0.000	0.363 0.167	0.803** 0.000	1	
Slump	0.034 0.900	0.004 0.989	0.208 0.439	0.103 0.704	0.103 0.703	1

-.933**	Pearson Correlation Sig. (2-tailed)
.000	

** : Correlation is significant at the 0.01 level

자의 상관관계는 잔골재가 상관계수 R 0.96 및 0.97로 유의수준 0.00을 보여 순환잔골재가 압축강도에 가장 높은 영향을 보이는 것으로 나타났다. 또한 물시멘트비 및 공기량 역시 상관계수 R 0.94~0.89로 나타나 압축강도와 높은 상관관계에 있음을 나타냈다.

반면, 순환굵은골재는 압축강도에 큰 영향을 주지 않는 것으로 나타나, 일반 굵은골재와 유사한 품질의 높은 밀도 및 낮은 흡수율을 갖는 순환굵은골재의 경우 콘크리트의 압축강도에 큰 영향을 주지 않는다는 기존 연구 결과와 부합하였다 (Malešev et al., 2010; Lee, 2015).

3.5 회귀분석

3.4절을 통해 재령 28일강도와 상관관계가 높은 것으로 평가된 순환잔골재 치환율, 물시멘트비 및 공기량에 대하여 재령 28일 압축강도를 종속변수로 하고 순환잔골재 치환율, 물시멘트비 및 공기량을 독립변수로 한 다원회귀분석 결과는 Tables 11 및 12와 같다.

회귀분석 결과, 각 단위시멘트량에서의 순환잔골재 치환율, 물시멘트비 및 공기량을 변수로 하는 재령 28일 압축강도

Table 10 Results of multitrait-multimethod correlation(320kg/m³)

	S28	Fine	Coarse	W/C	Air	Slump
S28	1					
Fine	-0.971** .000	1				
Coarse	-0.129 .633	.000 1.000	1			
W/C	-0.937** .000	.879** .000	.427 .099	1		
Air	-0.888** .000	.857** .000	.250 .351	.818** .000	1	
Slump	-.157 .562	.031 .909	.326 .219	.311 .242	-.085 .753	1

-.933**	Pearson Correlation Sig. (2-tailed)
.000	

** : Correlation is significant at the 0.01 level

Table 11 Results of multiple regression analysis of 28 day's compressive strength(320 kg/m³)

Model	Unstandardized Coefficients		R	R ²	Standardized Error of the Estimate
	B	Std. Error			
(Constant)	47.679	4.116			
Fine	-.033	.006	0.996	0.991	0.31620
W/C	-.302	.086			
Air	-.636	.078			

Table 12 Results of multiple regression analysis of 28 day's compressive strength(320 kg/m³)

Model	Unstandardized Coefficients		R	R ²	Standardized Error of the Estimate
	B	Std.Error			
(Constant)	62.234	7.944			
Fine	-.044	.008	0.989	0.978	0.48677
W/C	-.590	.166			
Air	-.217	.143			

에 대한 높은 상관계수의 회귀식을 도출하는 것이 가능한 것으로 나타났다.

한편, 레미콘 생산시 사용되는 인자로는 콘크리트 품질항목인 공기량을 제외한 순환잔골재 치환율 및 물시멘트비이며, 앞서 구분된 단위시멘트량 역시 인자로 분류할 수 있다.

따라서, 레미콘 생산 조건인 단위시멘트량, 순환잔골재 치환율 및 물시멘트비에 대한 재령 28일 압축강도의 다원회귀 분석을 통해 슬럼프 고정 순환골재콘크리트의 추정식을 다음 식 (1)와 같이 제안하였다. 제안된 식의 상관계수 R²은 0.96이며, 추정값의 표준오차는 0.6649로 나타났다.

$$S_{28} = 0.071 \times C - 0.054 \times F - 0.436 \times WC \quad (1)$$

여기서, S₂₈는 재령 28일 압축강도(MPa), C는 단위시멘트량(kg/m³), F는 순환잔골재 치환율(%), WC는 물시멘트비(%)이다.

4. 결 론

본 연구는 순환골재콘크리트의 레미콘 실생산을 위한 기초적 연구로서, 순환골재 사용량에 따른 슬럼프 고정 순환골재 콘크리트의 물시멘트비 변화 및 물리적 특성을 실험하고, 그 결과를 회귀분석하여 순환골재콘크리트의 압축강도 추정을 위한 단위시멘트량, 순환골재의 사용량, 물시멘트비 등 레미콘 생산 조건을 검토하였으며, 이를 통해 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 순환골재를 사용한 콘크리트는 목표 슬럼프를 유지하기 위해서는 단위수량 증가가 요구되며, 순환굵은골재보다 순환잔골재의 치환에 더 많은 단위수량의 증가가 필요하였다. 이는 순환잔골재가 갖는 거친 입형에 기인하는 것으로 판단된다.
- 2) 순환골재를 사용한 콘크리트의 공기량은 순환골재의 치환율이 증가할수록 증가하는 것으로 나타났으나, 굵은골

재 100%, 잔골재 60%까지의 치환에 따른 공기량 증가는 레미콘 품질기준을 벗어나지 않았다. 따라서, 순환골재를 다량 치환한 레미콘 생산은 가능한 것으로 판단된다.

- 3) 순환골재를 사용한 콘크리트의 압축강도는 순환골재의 치환율이 증가할수록 감소하는 것으로 나타났으며, 특히 순환잔골재를 100% 치환한 경우 압축강도는 25%정도 저하하는 것으로 나타났다. 이는 순환잔골재의 품질이 일반 잔골재에 비해 낮은 것에 기인하는 것으로 판단된다.
- 4) 순환골재를 사용한 콘크리트의 배합인자에 따른 압축강도의 상관관계를 분석한 결과, 순환잔골재>물시멘트비>공기량 순으로 영향을 미치는 것으로 나타났다.

이상의 실험 및 분석을 통해 순환골재콘크리트의 레미콘 생산을 위한 기초 데이터와 압축강도 추정에 대한 가능성을 확인할 수 있었다. 향후 보다 다양한 데이터 수집 및 분석을 통해 품질 안정성이 확보된 순환골재콘크리트 생산이 가능할 것으로 기대되며, 이를 통해 최근 요구되고 있는 골재 수급 문제의 해결을 위한 방안으로서 순환골재콘크리트 활성화를 위한 이론적 자료로 활용하고자 한다.

감사의 글

본 연구는 국토교통부 건설기술연구사업의 연구비지원(17SCIP-C128126-02-000000)에 의해 수행되었습니다.

References

- Choi, W. Y., Lee, S. H., and Kim, S. H. (2017). A Comparative Study on the Quality of Recycled Aggregate for Concrete by Crushing Method, *Journal of the Korea Recycled Construction Resources Institute*, 5(2), 121-129 (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 Structure & Construction*, 22(6), 71-78 (in Korean).
- Gonzalez-Taboada, I., Gonzalez-Fontboa, B., Martinez-Abella, F., and Carro-Lopez, D. (2016). Study of Recycled Concrete Aggregate Quality and Its Relationship with Recycled Concrete Compressive Strength Using Database Analysis, *Materiales de Construccion*, 66(323), e089.
- Jeon, E., Yun, H. D., Ji, S. K., Choi, K. S., You, Y. C., and Kim, K. H. (2009). Mechanical Properties of Ready-mixed Concrete with Recycled Coarse Aggregates, *Journal of the Architectural Institute of Korea Structure & Construction*, 25(8), 103-110(in Korean).
- Kim, S. C., Park, D. K., and Yoog, K. C. (2016). Characteristic of Cementitious Mortar Using High Volume of Recycled Fine Aggregate, *Journal of the Korea Recycled Construction Resources Institute*,

4(3), 235-242 (in Korean).
 Korea Concrete Institute (2016), Standard Specifications for Structural Concrete, Korea Concrete Institute.
 Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology (2014), Study on Activation of Recycled Aggregate, Ministry of Land, Infrastructure and Transport, 28-29.
 Lee, H. H. (2015), Material Strength Evaluation of Recycled Coarse Aggregate by Replacement Ratio, *Proceeding of the Korea Institute for Structural Maintenance Inspection*, 19(2), 463-464.
 Lee, W. K., Choi, J. O., and Jung, Y. W. (2015). Effect of the Amount of Attached Mortar of Recycled Aggregates on the Properties of Concrete, *Journal of the Korea Recycled Construction Resources Institute*, 3(2), 132-139 (in Korean).
 Malešev, M., Radonjanin, V., and Marinković, S. (2010). Recycled Concrete as Aggregate for Structural Concrete Production, *Sustainability*, 2(5), 1204-1225.
 Ryou, J. S., and Song, I. H. (2011), An Experimental Study on Field

Application of Self-compacting Concrete Using Recycled Fine Aggregate, *Journal of the Korea Institute for Structural Maintenance and Inspection*, 15(4), 193-203 (in Korean).
 Yang, I. H. and Jeong, J. Y. (2016). Effect of Recycled Coarse Aggregate on Compressive Strength and Mechanical Properties of Concrete, *Journal of the Korea Concrete Institute*, 28(1), 105-113 (in Korean).
 Yang, I. H., and 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 (in Korean).

Received : 10/16/2017

Revised : 12/21/2017

Accepted : 01/03/2018

요 지 : 본 연구는 콘크리트 산업에 있어 자원 고갈, 환경 문제 등을 대처할 수 있는 순환골재의 활용을 촉진하며 순환골재콘크리트의 레미콘 실생산을 위한 기초적 연구로서, 순환골재 사용량에 따른 슬럼프 고정 순환골재콘크리트의 물시멘트비 변화 및 물리적 특성을 실험하고 그 결과를 회귀분석하여 순환골재콘크리트의 압축강도 추정을 위한 단위시멘트량, 순환골재의 사용량, 물시멘트비 등 레미콘 생산 조건을 검토하여 다음과 같은 결론을 얻었다. 순환골재를 사용한 콘크리트는 목표 슬럼프를 유지하기 위해서는 단위수량 증가가 요구되며, 순환골재보다 순환잔골재의 치환에 더 많은 단위수량의 증가가 필요하였다. 순환잔골재의 치환율은 60%이하는 레미콘 품질기준에 벗어나지 않는 공기량 확보가 가능하였다. 순환골재를 사용한 콘크리트의 압축강도는 순환골재의 치환율이 증가할수록 감소하는 것으로 나타났으며, 특히 순환잔골재를 100% 치환한 경우 압축강도는 25%정도 저하하였다. 순환골재를 사용한 콘크리트의 배합인자에 따른 압축강도의 상관관계를 분석한 결과, 순환잔골재>물시멘트비>공기량 순으로 영향을 미치는 것으로 나타났다.

핵심용어 : 순환골재, 순환골재콘크리트, 순환잔골재, 치환율
