

재생 굵은 골재의 함수조건과 양생조건이 콘크리트 압축 강도에 미치는 영향

신민건* · 부상필** · 박상렬*** · 문경태****

Shin, Mingun*, Boo, Sangpil**, Park, Sangyeol***, Moon, Kyoungtae****

Effect of Moisture Conditions and Curing Conditions of Recycled Coarse Aggregate on Concrete Compressive Strength

ABSTRACT

Currently, the quality standards for recycled aggregates in Korea are very high, at almost the same level as natural aggregates, so recycled aggregates cannot be widely used for concrete. In particular, it is necessary to evaluate how the moisture conditions and curing conditions of recycled aggregates with high absorption rates and wearing rates affect the compressive strength of concrete. Therefore, in this study, we wanted to investigate the effects on compressive strength through experiments using the moisture conditions and curing conditions of recycled coarse aggregate as variables, and compare the compressive strength characteristics of natural coarse aggregate concrete. As a result of this experimental study, the effect of compressive strength on concrete using recycled coarse aggregates according to curing conditions was similar to that of natural aggregate concrete, and the compressive strength showed a low strength of about 13 to 17%. The effect of the moisture conditions of recycled coarse aggregates was that in the case of wet curing, concrete using wet aggregate showed slightly higher compressive strength than concrete using dry aggregate, but in the case of air curing, on the contrary, dry recycled aggregate concrete was relatively higher than wet aggregate concrete.

Keywords : Recycled aggregate, Moisture condition, Curing condition, Compressive strength

초 록

현재 우리나라의 순환골재의 품질기준은 천연골재와 거의 동등한 수준으로 매우 높기 때문에 재생골재를 콘크리트용으로 널리 이용하지 못하는 실정이다. 특히, 높은 흡수율과 마모율을 가진 재생골재의 함수상태와 양생조건이 콘크리트의 압축 강도에 어떤 영향을 미치는지에 대한 평가가 필요하다. 따라서, 본 연구에서는 재생 굵은 골재의 함수상태와 양생조건을 변수로 하여 실험을 통하여 압축 강도에 대한 영향을 알아보고, 천연 굵은 골재 콘크리트의 압축 강도 특성과 비교하고자 하였다. 본 실험연구 결과 재생 굵은 골재를 사용한 콘크리트의 양생조건에 따른 압축 강도 영향은 천연골재 콘크리트와 비슷하였으며, 압축 강도는 약 13~17% 낮게 나타났다. 재생 굵은 골재의 함수상태에 따른 영향은 습윤양생의 경우 습윤상태의 골재를 사용한 콘크리트가 건조상태의 골재를 사용한 콘크리트 보다 조금 높은 압축 강도를 보였으나, 대기양생의 경우는 이와 반대로 건조상태의 재생골재 콘크리트가 습윤상태의 콘크리트보다 상대적으로 높게 나타났다.

검색어 : 순환골재, 재생골재, 함수상태, 양생조건, 압축 강도

* 제주대학교 토목공학과 석사 (Jeju National University · mingun90@gmail.com)

** 정회원 · 교신저자 · (주)모든엔지니어링 대표 (Corresponding Author · Modeun Engineering Co., Ltd. · boosi311@daum.net)

*** 중신회원 · 제주대학교 토목공학과 명예교수 (Jeju National University · sypark@jeju.ac.kr)

**** 중신회원 · (주)모든엔지니어링 이사 (Modeun Engineering Co., Ltd. · ktmoon@jeju.ac.kr)

Received January 3, 2024/ revised March 6, 2024/ accepted March 7, 2024

1. 서론

우리나라는 1970년대부터 급격히 산업화가 진전되면서 많은 철근콘크리트 구조물이 건설되었으며, 이들 구조물의 노후화에 따른 재건축과 도심의 재개발 사업이 증가되어 건설폐기물이 해마다 증가하고 있다. 이러한 건설폐기물이 환경문제로 대두되면서 이를 효과적으로 처리할 수 있는 대책이 요구되고 있다. 또한 90년대 중반에 하천골재가 30% 정도 이용되던 것이 2000년대에 접어들며 20% 수준으로 감소하였고, 2010년대 후반부터는 하천골재를 대신하여 석산골재에 전적으로 의존하는 형태를 보이고 있다. 그러나 환경문제로 인하여 석산의 무분별한 개발을 제한하고 있어 골재의 수급에 어려움이 있다. 이러한 문제를 해결하기 위해 1990년대부터 국내외의 많은 연구자들은 건설폐기물을 재활용할 수 있는 방안에 대해 연구하였고, 국내에서는 순환골재의 용도에 따라 품질기준을 수립하여 사용하고 있다(국토교통부 공고 제2021-1852호). 그러나 현재 우리나라의 콘크리트용 순환골재의 품질기준이 천연골재와 거의 동등한 수준으로 매우 높기 때문에 높은 흡수율과 마모율을 가진 재생골재의 처리 과정에 많은 비용이 소요되며, 이로 인하여 재생골재의 경제성을 떨어뜨려 재생골재를 콘크리트용으로 널리 이용하지 못하는 실정이다.

그동안 국내의 연구자들은 재생골재를 사용한 콘크리트의 역학적 특성, 특히, 압축 강도에 미치는 영향을 규명하기 위한 연구를 진행하여 왔다. 주요 변수로는 재생골재의 함수상태, 재생골재의 혼입율, 양생조건 등이다. 특별히 재생골재의 함수상태와 양생조건은 재생골재의 높은 흡수율이 콘크리트의 수화반응과 압축 강도에 어떤 영향을 미치는지 알아보기 위한 것이다. 골재의 함수상태와 관련하여 국내의 순환골재 품질기준에서는 콘크리트용으로 순환골재를 사용할 때 흡수율이 높은 순환골재의 함수율을 일정하게 관리하기 위하여 프리웨팅(pre-wetting)하여 배합할 것을 제안하고 있으나 이에 대한 명확한 근거자료가 제시되고 있지 않다.

연구자 중에서 Choi et al.(2018)은 순환 굵은 골재의 혼입률, Poon et al.(2005)은 재생골재의 혼입률과 함수상태(절대건조, 대기중건조, 표면건조 포화)를, Yang et al.(2005)은 재생골재의 함수상태(절건, 표건, 습윤)와 혼입율을, Moon et al.(2019)은 함수상태(절건, 표건)와 물/결합재비, 양생조건(습윤, 대기)을, Choi et al.(2005)은 재생골재 치환율과 양생방법(표준수중, 현장봉합, 기중)을, Kim et al.(2014)은 양생조건(상대습도 30%, 80%, 밀봉, 수중)을, Lee et al.(2014)은 양생조건(수중, 증기)과 순환골재 치환율을 변수로 연구를 수행하였다. 그러나 재생골재의 함수상태에 대해서는, 연구자마다 다소 상이한 결과를 발표하고 있어서 이에 대한 더 많은 데이터와 연구가 필요한 상태이다.

또한 기존 연구에서는 다중 변수들을 함께 변화시킴으로써 상호

영향에 의해 한가지 변수의 영향을 온전히 파악하기 어렵고, 실제 현장의 조건에 가깝게 변수를 연속적으로 적절한 수만큼 정하지 못하고 있다. 이를 위하여, 골재의 종류(경우의 수 2), 재생골재의 함수상태(3), 양생조건(4), 물/결합재비(3)를 변수로 가능한 24가지 경우에 대해 각 5개 시험체로 총 120개의 시험체를 제작 시험하였다. 한가지 변수의 영향을 파악하기 위해서 다른 변수들은 적절한 조건으로 고정하여, 그 영향을 온전히 파악할 수 있도록 하였고, 경향성을 파악하기 위해서 실제 현장에서 가능한 조건의 범위와 경우의 수를 채택하였다.

따라서, 본 연구에서는 실제 콘크리트 배합시 재생 굵은 골재가 원래 가지고 있는 함수상태(절대건조, 표면건조, 습윤)와 실제 현장에서의 가능한 양생조건(습윤양생 1일, 3일, 7일 후 대기중 양생)을 중심 변수로 하여 실험을 통하여 압축 강도에 대한 영향을 알아보고, 천연 굵은 골재 콘크리트의 압축 강도 특성과 비교하고자 하였다.

2. 실험계획 및 방법

2.1 사용재료

시험체 제작에는 국내 S사에서 생산하는 보통포틀랜드시멘트(1종)를 사용하였으며, 잔골재는 서해안에서 채취하여 세척한 해사를 사용하였다. 굵은 골재의 경우, 천연골재는 제주지역의 채석장에서 생산된 25 mm 이하의 쇄석골재를, 재생골재는 A기업에서 폐콘크리트로부터 생산된 골재를 사용하였다. 본 연구에 사용된 재생골재는 느슨하게 붙어 있는 골재 표면의 석분 및 페이스트의 미분을 제거하기 위해 물로 여러 차례 세척한 후에 배합에 사용하였으며, 골재의 함수상태에 따라 절대건조인 경우에는 약 100℃의 건조기 내에서 24시간 이상 건조시킨 후 사용하였으며, 표면건조포화상태와 습윤상태는 수조에 48시간 이상 침수 시킨 후에 배합에 사용하였다.

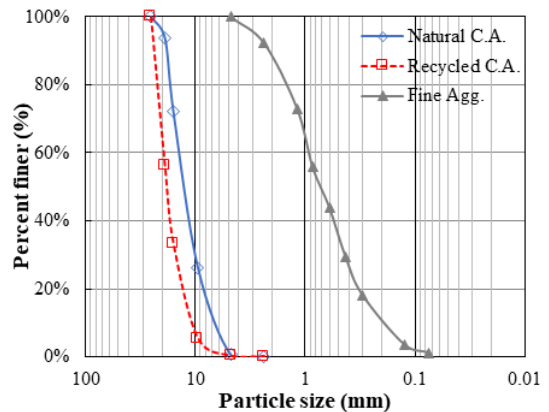


Fig. 1. Particle Size Distribution Curves of Aggregates (C.A.: Coarse Aggregate)

Table 1. Physical Properties of Coarse Aggregates

Coarse Aggregate	Oven-dried density (g/cm ³)	Absorption (%)	Solid Contents (%)
Natural	2.578	2.19	59.5
Recycled	2.278	5.82	56.5

본 실험에 사용된 재생골재는 입도분포특성을 평가하기 위하여 체가름 시험을 KS F 2502(2019) (굵은 골재 및 잔골재의 체가름 시험 방법)에 따라 수행하였다. 체가름 시험결과에 따른 입도분포곡선을 Fig. 1에 나타냈으며, 균등계수가 2.47, 곡률계수가 0.87이다. 골재의 실적률을 평가하기 위해 KS F 2505(2017) (골재의 단위용적 질량 및 실적률 시험방법)에 따라 실적률 시험을 수행하였으며 그 결과 천연골재는 59.5 %, 재생골재는 56.5 %을 나타내었다. 또한 KS F 2503(2019) (굵은 골재의 밀도 및 흡수율 시험방법)을 따라 밀도 및 흡수율 시험을 수행하였으며 그 결과를 Table 1에 정리하였다.

2.2 실험변수 및 배합

KS F 2403(콘크리트의 강도 시험용 공시체 제작방법)에서 압축 강도 시험을 위한 공시체로 규정한 원주형 공시체(지름 100 mm, 높이 200 mm)를 사용하였다. 재생 굵은 골재를 사용한 콘크리트의 압축 강도에 미치는 영향을 평가하기 위하여 골재의 종류와 함수상태, 물/결합제비, 양생조건을 실험변수로 정하였다. 골재의 함수상태는 절대건조상태, 표면건조포화상태 및 습윤상태로 구분하여 배합하였다. 물/결합제 비는 55-65 %를 5 % 간격으로 정하였으며, 고성능감수제를 시멘트 중량의 0.8 % 혼합하여 콘크리트를 배합하였다. 공시체는 최초 수중에서 양생시켰으며, 변수에 따라 1, 3, 7일 후에 대기에서 양생시켰다. 1, 3, 7일 후 대기 양생은 최대한 현장양생의 조건을 고려하기 위하여 선택하였다. 양생 기간 동안 터보온수히터와 라디에이터를 사용하여 물과 공기의 온도를 20±5℃의 범위로 유지하였으며, 공기 중 습도는 20±10 %의 범위로 비교적 건조한 상태를 조성하여 수화반응에 필요한 수분 공급을 제한하였다. 시험체는

Table 2. Experimental Parameters and Mixture Proportions

Coarse Aggregate		W/B ratio (%)	Curing Condition	Specimen I.D.	Proportion (kg/m ³)					
Type	Moisture condition				Water	Cement	Fine agg.	Coarse agg.	Plasticizer	
Natural	Saturated surface-dried	55	In air	after 1 day	N55S-1D	176	320	970	940	2.7 (0.8 % weight by cement)
				after 3 days	N55S-3D					
				after 7 days	N55S-7D					
			Moist-cured		N55S-M					
Oven-dried	55	In air	after 1 day	R55D-1D	230	320	970	940		
			after 3 days	R55D-3D						
			after 7 days	R55D-7D						
		Moist-cured		R55D-M						
Recycled	Saturated surface-dried	55	In air	after 1 day	R55S-1D	176	320	970	940	
				after 3 days	R55S-3D					
				after 7 days	R55S-7D					
			Moist-cured		R55S-M					
		60	In air	after 1 day	R60S-1D	192	320	970	940	
				after 3 days	R60S-3D					
				after 7 days	R60S-7D					
			Moist-cured		R60S-M					
	65	In air	after 1 day	R65S-1D	208	320	970	940		
			after 3 days	R65S-3D						
			after 7 days	R65S-7D						
		Moist-cured		R65S-M						
Wet	55	In air	after 1 day	R55W-1D	152	320	970	963		
			after 3 days	R55W-3D						
			after 7 days	R55W-7D						
		Moist-cured		R55W-M						

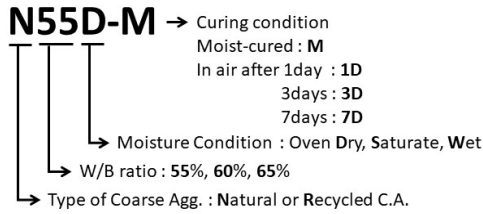


Fig. 2. Specimen I.D.

변수별로 각각 5개씩 제작하여 총 120개의 시험체에 대해 압축 강도 시험을 수행하였다. 시험체 제작에 사용된 변수와 배합은 Table 2에 정리하였으며, 시험체명은 Fig. 2에 나타난 것과 같이 골재의 종류를 천연은 N으로, 재생은 R로 표기하였으며, 물비인더비는 55~65%의 범위를 55~65로 표기하였다. 굵은 골재의 함수상태는 오븐 건조인 경우 D, 표면건조포화상태인 경우 S, 습윤상태인 경우 W로 표기하였고, 양생조건은 표준양생의 경우 M, 1, 3, 7일 후 대기양생인 경우 1D, 3D, 7D로 표기하여 구분하였습니다.



Fig. 3. Universal Testing Machine and Specimen

2.3 실험방법 및 장치

압축 강도 시험은 KS F 2405(2022) (콘크리트 압축 강도 시험 방법)을 따라 수행하였다. 변수 조건에 따라 표준 습윤양생한 시험체가 있는 반면 대기 중에서 양생한 시험체가 있기 때문에 강도

Table 3. Experimental Test Results

Coarse Aggregate		W/B ratio (%)	Curing Condition	Specimen I.D.	Unit weight (kN/m ³)	Absorption (%)	Compressive strength(MPa)	
Type	Moisture condition				Average	Average	Average	
Natural	Saturated surface -dried	55	In air	after 1 day	N55S-1D	21.3	6.7	19.9
				after 3 days	N55S-3D	21.5	6.2	21.8
				after 7 days	N55S-7D	21.6	6.3	23.0
			Moist-cured		N55S-M	22.7	6.1	25.1
Recycled	Oven -dried	55	In air	after 1 day	R55D-1D	20.2	3.4	16.0
				after 3 days	R55D-3D	20.3	3.4	18.2
				after 7 days	R55D-7D	20.4	4.5	19.2
			Moist-cured		R55D-M	21.3	5.9	21.8
	Saturated surface -dried	55	In air	after 1 day	R55S-1D	20.6	7.1	16.8
				after 3 days	R55S-3D	21.2	6.7	18.9
				after 7 days	R55S-7D	21.2	6.7	19.0
			Moist-cured		R55S-M	21.9	6.3	21.6
		60	In air	after 1 day	R60S-1D	20.6	6.2	15.3
				after 3 days	R60S-3D	20.7	6.3	18.6
				after 7 days	R60S-7D	21.1	7.0	18.7
			Moist-cured		R60S-M	21.7	8.0	20.0
65	In air	after 1 day	R65S-1D	20.6	7.4	12.6		
		after 3 days	R65S-3D	20.9	6.1	15.7		
		after 7 days	R65S-7D	20.9	5.8	15.8		
	Moist-cured		R65S-M	22.0	7.1	16.6		
Wet	55	In air	after 1 day	R55W-1D	20.2	5.8	16.9	
			after 3 days	R55W-3D	20.4	4.7	19.7	
			after 7 days	R55W-7D	20.4	4.5	20.3	
		Moist-cured		R55W-M	21.2	4.8	21.1	

시험시 시험체의 함수상태가 각각 다르게 된다. Bartlett and MacGregor (1994)는 콘크리트 공시체에서 수침시 외부와 내부의 팽창 정도가 달라 이로 인한 잔류응력이 발생하여 압축 강도를 저하한다고 발표한 바가 있다. 공시체의 함수상태도 압축 강도에 영향을 미치기 때문에 공시체를 동일한 조건으로 유지하기 위해 KS F 2422(2022) (콘크리트 코어 및 보의 시료 절취 및 강도 시험방법)에서 제시한 것과 같이 모든 시험체들을 약 20℃의 물에 48시간 동안 수침시켜 습윤상태에서 시험하여 압축 강도를 측정하였다. 압축 강도 시험은 Fig. 3에 나타난 것과 같이 국내 D사에서 제작한 1,000 kN 용량의 만능재료시험기를 사용하였고, 하중제어는 하중제어 방식으로 시험하였다.

3. 실험결과 및 분석

재생 굵은 골재를 사용한 콘크리트의 압축 강도에 미치는 영향을 평가하기 위하여 골재의 종류와 함수상태, 물/결합재 비, 양생조건을 실험변수로 정하여 압축 강도 시험을 수행한 결과를 Table 3에 정리하였다.

3.1 양생조건에 따른 콘크리트의 흡수율, 단위중량과 압축 강도

Fig. 4는 천연 굵은 골재를 사용한 콘크리트와 재생 굵은 골재를 사용한 콘크리트의 흡수율을 양생조건에 따라 도식한 것이다. 천연 굵은 골재를 사용한 콘크리트의 흡수율이 재생 굵은 골재를 사용한 것에 비해 3~7 % 낮게 나타나고 있으며, 양생시 수분을 공급해주는 기간이 길어질수록 콘크리트의 흡수율이 감소하는 경향을 나타내고 있다. 천연골재를 사용한 콘크리트의 흡수율이 재생골재를 사용한 콘크리트보다 낮게 나타나는 것은 콘크리트의 용적의 55~60 %를 차지하는 굵은 골재의 영향으로 판단된다. 앞 장에서 언급한 것과 같이 재생 굵은 골재의 흡수율은 5.82 %, 천연 굵은 골재의 경우 2.19 %로 재생골재의 흡수율이 천연골재의 흡수율보다 약 2.6배 크기 때문에 재생골재를 사용한 콘크리트의 흡수율이 높게 나타나는 것으로 판단된다. 양생시 수분을 공급해 주는 기간이 변함에 따라 흡수율이 변화하는 것은 수분의 공급기간이 길수록 시멘트의 수화반응이 진행되어 수화생성물로 콘크리트가 밀실해지기 때문에 흡수율이 감소하는 것으로 판단된다.

한편, 콘크리트의 단위중량은 Fig. 5에 나타난 것과 같이 천연 굵은 골재를 사용한 콘크리트가 재생 굵은 골재를 사용한 콘크리트보다 크고, 수분공급 일수가 늘어남에 따라 단위중량이 증가하는 경향을 나타내고 있다. 천연골재를 사용한 콘크리트의 단위중량이 재생골재를 사용한 것보다 큰 이유는 천연골재의 단위중량이 재생골재보다 크고, 실적을 또한 천연골재가 3 % 높기 때문이다. 수중양생

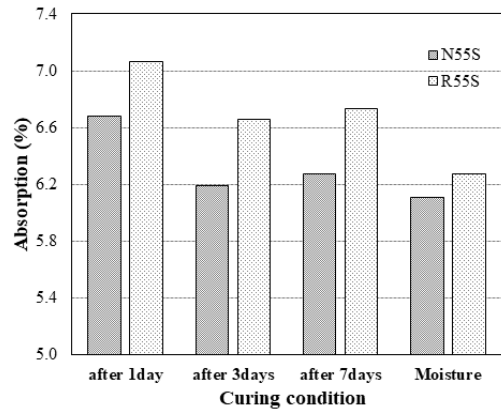


Fig. 4. Absorption with Aggregate Types according to Curing Conditions

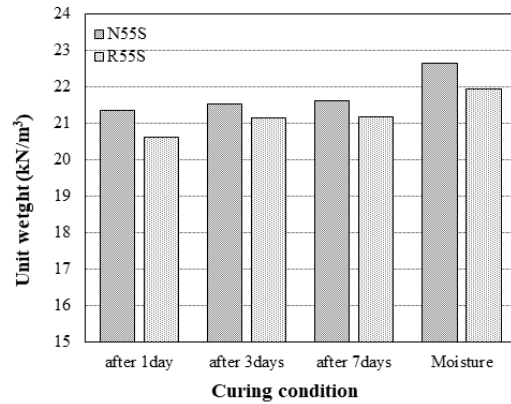


Fig. 5. Unit Weight with Aggregate Types according to Curing Conditions

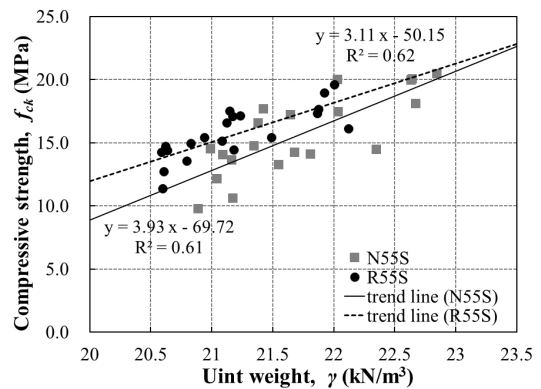


Fig. 6. Compressive Strength with Aggregate Types according to Unit Weights

기간이 길수록 단위중량이 증가하는 것은 수화반응에 필요한 수분의 공급이 지속됨에 따라 수화생성물로 콘크리트가 보다 밀실해지기 때문으로 판단된다.

Fig. 6은 단위중량에 따른 압축 강도를 천연 굵은 골재와 재생 굵은 골재를 사용한 콘크리트로 구분하여 도식한 것이다. 천연골재와 재생골재를 사용한 콘크리트 모두 단위중량이 증가함에 따라 압축 강도가 증가하는 경향을 보이고 있다. 또한, 재생골재를 사용한 콘크리트의 압축 강도가 천연골재를 사용한 압축 강도보다 단위중량에 대하여 덜 민감한 영향을 보이고 있는데, 이는 재생골재의 상대중량이 작기 때문인 것으로 여겨진다.

3.2 콘크리트 압축 강도에 대한 양생 조건의 영향

재생 굵은 골재를 사용한 콘크리트에 양생 조건이 콘크리트의 압축 강도에 미치는 영향을 평가하기 위하여 수분 공급 조건을 변화하여 양생시킨 후 압축 강도 시험을 수행하였다. Fig. 7은 천연골재와 재생골재를 사용한 콘크리트의 양생 조건에 따른 압축 강도의 평균값을 도식한 것이다. 표준양생을 하여도 재생골재를 사용한 콘크리트의 압축 강도는 천연골재를 사용한 것의 86 % 수준으로 낮게 나타나고 있으며, 대기양생을 시킨 경우에도 재생골재를 사용한 것이 천연골재를 사용한 것에 비해 약 83~87 %의 수준으로 낮게 나타났다. 이는 실험에 사용한 재생 굵은 골재의 품질이 천연 골재의 품질에 미치지 못하기 때문으로 판단된다. 특히, 재생골재의 높은 흡수율과 재생골재 표면 모르타르의 미세균열에 의한 시멘트풀의 접착력 저하가 그 원인으로 추측된다.

Fig. 8은 천연골재를 사용하고 표준 양생한 시험체(N55S-M)의 압축 강도를 기준으로 한 압축 강도비를 양생조건에 따라 도식한 것이다. 천연골재와 재생골재를 사용한 시험체 모두 습윤양생 기간에 비해 대기양생 기간이 길어질수록 압축 강도가 낮아지고 있으며, 감소율도 비슷하게 나타나고 있다. 이러한 경향을 통해 콘크리트의 양생기간 동안 수분의 공급을 제한하여 압축 강도가 감소하는 것은 수분의 부족으로 인해 수화반응이 충분하지 못한 것으로 판단되며, 골재의 종류는 양생조건에 따른 경향에 큰 영향을 미치지 않는 것으로 판단된다.

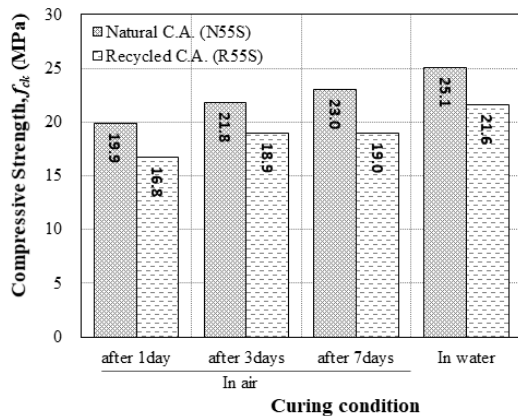


Fig. 7. Effect of Curing Conditions with Aggregate Types on Compressive Strength

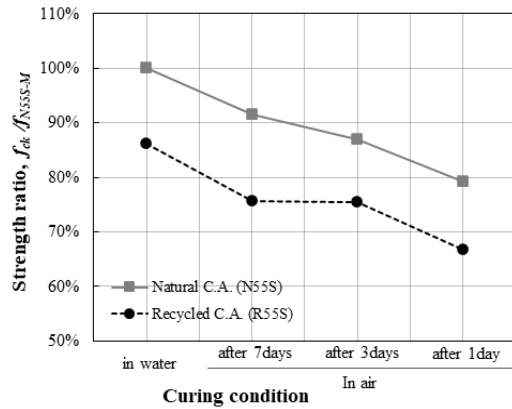


Fig. 8. Effect of Curing Conditions with Aggregate Types on Strength Ratio

3.3 압축 강도에 대한 골재의 함수상태의 영향

재생 굵은 골재의 함수상태가 절건상태, 표준상태, 습윤상태일 때, 배합한 콘크리트에 있어서 양생조건이 미치는 영향을 평가하였다. Fig. 9는 골재의 함수상태가 다른 콘크리트의 평균 압축 강도를 양생조건에 따라 나타낸 것이다. 그림에서 보이는 바와 같이 물속에서 습윤양생을 한 경우 습윤골재를 사용한 시험체가 절건상태인 골재를 사용한 시험체의 강도보다 조금 높게 나타났다. 이에 대한 원인으로 Neville(1996)는 표면수가 많은 골재는 골재와 시멘트 페이스트 사이에 수분 겔(water gel)이 형성되어 접착력을 약화시킨다고 설명하였다. 그러나 본 실험에서 대기양생을 한 경우에는 습윤상태의 골재를 사용한 시험체의 강도가 절건상태의 골재를 사용한 것보다 조금 높게 나타나고 있다. 이는 대기양생을 하는 경우 콘크리트의 수분이 증발되어 수화작용에 필요한 수분이 상실되지만 습윤상태 골재의 경우에는 골재가 함유하고 있던 물이 수화작용에 보충 사용되어 강도가 상대적으로 높게 나타나는 것으로 추측되는데, 이에 대해서는 더 많은 데이터와 연구가 필요하다.

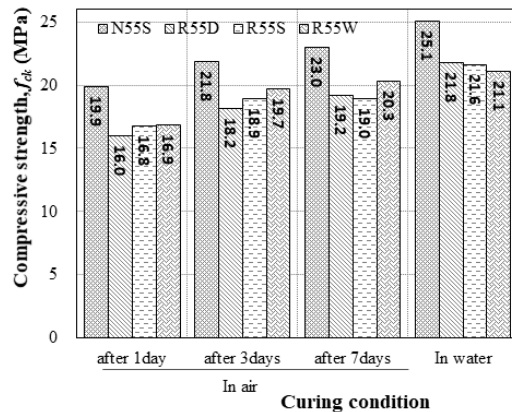


Fig. 9. Effect of Moisture Conditions of Coarse Aggregate on Compressive Strength according to Curing Conditions

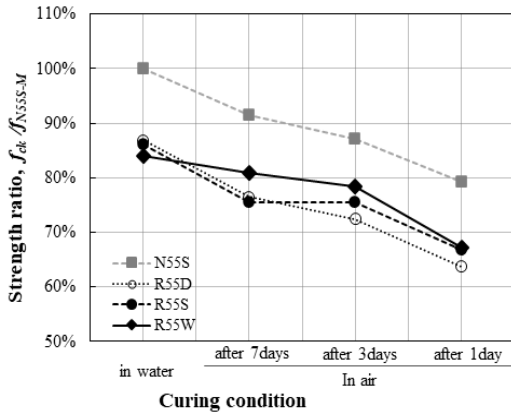


Fig. 10. Effect of Moisture Conditions of Coarse Aggregate on Strength Ratio according to Curing Conditions

Fig. 10은 표면건조상태의 천연 굵은 골재를 사용한 표준공시체(N55S-M)의 압축 강도를 기준으로 한 강도비를 양생조건에 따라 도식한 것으로 절건상태의 시험체는 습윤양생기간이 줄어들에 따라 천연골재 콘크리트와 같은 비율로 감소하였으며, 습윤상태의 골재를 사용한 시험체는 이보다 완만하게 감소하는 경향을 보이고 있다.

3.4 압축 강도에 대한 물/결합재 비의 영향

물/결합재 비에 따른 재생골재 콘크리트의 압축 강도를 양생조건에 따라 Fig. 11에 나타내었다. 일반적으로 알려진 바와 같이 물/결합재 비가 증가함에 따라 양생 조건에 관계없이 압축 강도는 감소하였다. Fig. 12는 표건상태인 천연골재를 사용하고 표준양생한 기준 시험체(N55S-M)의 압축 강도를 기준으로 하여 물/결합재비 별로 강도비를 양생조건에 따라 나타낸 것이다. 천연골재 콘크리트와 비슷하게 재생골재 콘크리트도 대기양생 기간이 길어질수록 강도는 감소하는 경향을 나타내고 있으나, 물/결합재 비가 55 %에서

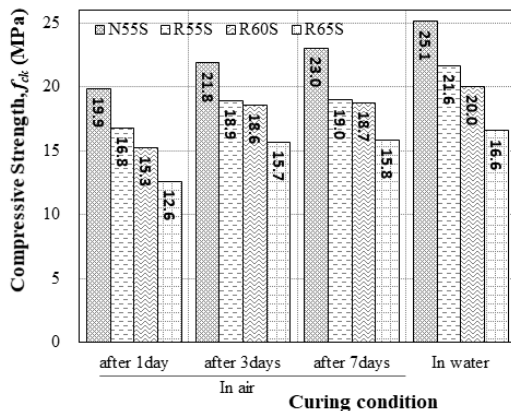


Fig. 11. Effect of W/B Ratio on Compressive Strength according to Curing Conditions

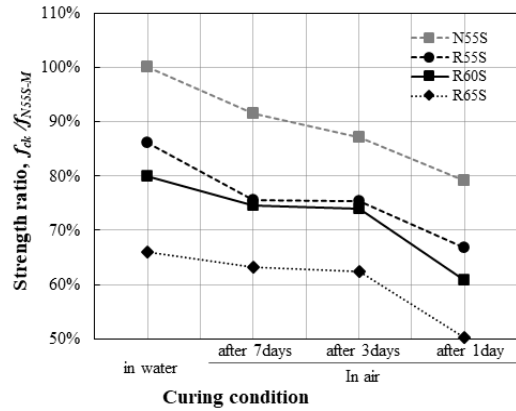


Fig. 12. Effect of W/B Ratio on Strength Ratio according to Curing Conditions

증가하여 60 %의 경우, 강도의 감소폭이 크지 않은 반면, 65 %인 경우 강도가 크게 감소함을 보이고 있다. 또한 재생골재를 사용한 콘크리트의 경우, 3일 후 대기양생과 7일 후 대기양생의 강도 차이가 물/결합재 비가 변하여도 크게 나타나지 않고 있다. 위의 두가지 사실에 대해서는 더 많은 데이터와 연구가 필요하다.

4. 결론




재생 굵은 골재를 사용한 콘크리트의 압축 강도에 미치는 영향인자를 평가하기 위하여 골재의 종류와 함수상태, 양생조건, 물/결합재 비를 변수로 하여 실험한 결과를 분석하여 얻은 결론은 다음과 같다.

- (1) 재생 굵은 골재를 가진 콘크리트가 천연 굵은 골재를 가진 콘크리트보다 흡수율이 높고 단위중량이 낮으며 단위중량에 대한 압축 강도에 대하여 덜 민감하였다.
- (2) 재생 굵은 골재를 사용한 콘크리트의 압축 강도 영향은 천연 굵은 골재를 사용한 콘크리트와 같이 대기양생 기간이 길어질수록 감소율도 비슷하였으며, 압축 강도는 약 13~17 % 낮게 나타났다.
- (3) 재생 굵은 골재를 사용한 콘크리트는 습윤양생을 한 경우, 습윤상태의 골재를 사용한 시험체가 절건상태인 골재를 사용한 시험체의 강도보다 조금 높게 나타났다. 그러나 대기양생을 한 경우에는 습윤상태의 골재를 사용한 시험체의 강도가 절건상태의 골재를 사용한 것보다 조금 높게 나타나고 있다.
- (4) 재생 굵은 골재를 사용한 콘크리트의 압축 강도는 일반적으로 천연골재 콘크리트와 같이 물/결합재 비가 증가함에 따라, 대기양생 기간이 길수록 감소하였다. 다만, 물/결합재 비의 증가와 대기 양생 기간에 따른 감소율은 천연골재와 다소

상이하였다.

- (5) 본 실험에서의 재생 굵은 골재를 사용한 콘크리트의 압축 강도에 영향을 미치는 변수에 대한 분석과 판단에 대한 결론에 대해서는 더 많은 실험 데이터와 연구가 필요하다고 사료된다.

ORCID

Sangpil Boo  <https://orcid.org/0009-0002-3566-4547>
 Sangyeol Park  <https://orcid.org/0000-0001-7181-2709>
 Kyoungtae Moon  <https://orcid.org/0000-0002-6307-4360>

References

- Bartlett, F. M. and MacGregor, J. G. (1994). "Effect of moisture condition on concrete core strengths." *ACI Materials Journal*, ACI, Vol. 91, No. 3, pp. 227-236, <https://doi.org/10.14359/4328>.
- Choi, M. K., Park, H. G., Kim, K. K., Jung, K. S., Jung, K. H. and Jung, S. J. (2005). "An experimental study on the strength characteristic of recycled concrete by curing method." *Proc. of 2005 Korea Concrete Institute Conference*, KCI, Vol. 17, No. 2, pp. 723-726 (in Korean).
- Choi, W. Y., Lee, S. H., Jun, C. S. and Kim, T. H. (2018). "A study on the strength properties and life cycle assessment of high strength concrete using recycled coarse aggregate." *Journal of the Korean Recycled Construction Resources Institute*, RCR, Vol. 6, No. 1, pp. 8-15, <https://doi.org/10.14190/JRCR.2018.6.1.8> (in Korean).
- Kim, J. Y. and Kim, J. K. (2014). "Study on compressive strength properties of concrete under different curing conditions." *Proc. of 2014 Korea Concrete Institute Conference*, KCI, Vol. 26, No. 2, pp. 349-350 (in Korean).
- KS F 2502 (2019). *Standard test method for sieve analysis of aggregates*. Korea Standards Association(KSA), Seoul, Korea (in Korean).
- KS F 2503 (2019). *Standard test method for sieve analysis of aggregates*. Korea Standards Association(KSA), Seoul, Korea (in Korean).
- KS F 2505 (2017). *Standard test method for sieve analysis of aggregates*. Korea Standards Association(KSA), Seoul, Korea (in Korean).
- KS F 2405 (2022). *Standard test method for sieve analysis of aggregates*. Korea Standards Association(KSA), Seoul, Korea (in Korean).
- KS F 2422 (2022). *Standard test method for sieve analysis of aggregates*. Korea Standards Association(KSA), Seoul, Korea (in Korean).
- Lee, S. T., Choi, J. Y., Park, K. T., Seo, D. W. and You, Y. J. (2014). "Effect of steam curing on the properties of recycled aggregate concrete." *Journal of the Korea Institute for Structural Maintenance and Inspection*, KSMI, Vol. 18, No. 2, pp. 99-107, <http://dx.doi.org/10.11112/jksmi.2014.18.2.099> (in Korean).
- Moon, K. T., Park, S. Y. and Kim, S. E. (2019). "Compressive strength of concrete due to moisture conditions of recycled coarse aggregates and curing conditions." *Journal of the Korean Society of Civil Engineers*, KSCE, Vol. 39, No. 4, pp. 485-492, <https://doi.org/10.12652/Ksce.2019.39.4.0485> (in Korean).
- Neville, A. M. (1996). *Properties of Concrete* (4th ed.), John Wiley & Sons, U.S.A.
- Poon, C. S., Shui, Z. H., Lam, L., Fok, H. and Kou, S. C. (2004). "Influence of moisture states of natural and recycled aggregates on the slump and compressive strength of concrete." *Cement and Concrete Research*, CCR, Vol. 34, No. 1, pp. 31-36, [https://doi.org/10.1016/S0008-8846\(03\)00186-8](https://doi.org/10.1016/S0008-8846(03)00186-8).
- Yang, K. H., Lee, J. S. and Chung, H. S. (2005). "The influence of moisture state of aggregates on the properties of recycled aggregate concretes." *Journal of the Architectural Institute of Korea Structure & Construction*, AIK, Vol. 21, No. 10, pp. 103-110 (in Korean).