

# 순환 굵은 골재의 함수상태와 양생조건에 따른 콘크리트의 압축강도

문경태\* · 박상렬\*\* · 김승은\*\*\*

Moon, Kyoungtae\*, Park, Sangyeol\*\*, Kim, Seungeun\*\*\*

## Compressive Strength of Concrete due to Moisture Conditions of Recycled Coarse Aggregates and Curing Conditions

### ABSTRACT

In this study, the effect of moisture conditions of recycled coarse aggregates on the compressive strength of concrete was evaluated with the water/binder ratios and the curing conditions. The saturated recycled aggregates seemed to have the negative effect on the strength development of concrete. This is because of the decrease in bond strength between aggregate and cement paste due to the increase of surface water according to the high absorption of recycled aggregates. The effect of types and moisture conditions of aggregates according to the change of water/binder ratio was similar. However, the curing conditions had a significant effect on the compressive strength of the concrete with the different types of aggregates. In the case of curing in air, the recycled aggregates with high absorption reduced the moisture required for hydration and increased the rate of vaporizing, and these result in interfering strength development. The moisture conditions of the recycled aggregates have a considerable effect on the compressive strength of the concrete, and it is necessary to control the moisture conditions of aggregates in the production of concrete with recycled coarse aggregate. And the control of the curing condition is very important for the concrete with recycled aggregate.

**Key words :** Recycled aggregate, Coarse aggregate, Moisture condition, Compressive strength, Curing condition, Water/binder ratio

### 초 록

본 연구는 순환 굵은 골재의 함수상태가 콘크리트의 압축강도에 미치는 영향을 물/결합재 비와 양생 조건을 변수로 하여 평가하였다. 표건상태의 순환골재는 콘크리트의 강도발현을 저하시켰는데, 이는 순환골재의 높은 흡수율에 의한 표면수의 증가로 골재와 시멘트 페이스트 사이의 부착강도가 저하되었기 때문이다. 골재의 종류와 함수상태가 물/결합재 비의 변화에 따라 압축강도에 미치는 영향의 정도는 비슷하였다. 그러나 양생조건에 대해서는 골재의 종류에 따라 상당한 차이를 보였다. 대기양생을 시킨 경우 높은 흡수율을 가진 순환골재는 수화작용에 필요한 수분을 감소시키고, 수분증발을 증가시켜 강도발현을 저해하였다. 순환골재의 함수상태는 콘크리트의 압축강도에 상당한 영향을 줬으며, 순환골재콘크리트 생산 시 골재의 흡수율에 따른 함수상태에 대한 관리가 필요하다. 또한 순환골재 콘크리트의 경우 적절한 품질관리를 위해 양생관리가 매우 중요하다.

**검색어 :** 순환골재, 굵은 골재, 함수상태, 압축강도, 양생조건, 물/결합재 비

## 1. 서론

우리나라는 1970년대부터 급격히 산업화가 진전되면서 많은 철근콘크리트 구조물이 건설되었으며, 이러한 구조물이 노후화에 따른 재건축과 도심의 재개발 사업 등으로 인해 건설폐기물이 증가함에 따라 이를 처리할 수 있는 대책이 요구되고 있다. 또한, 강모래와

\* 종신회원 · 제주대학교 토목공학과 박사후연구원 (Jeju National University · [ktmoon@jeju.ac.kr](mailto:ktmoon@jeju.ac.kr))

\*\* 종신회원 · 교신저자 · 제주대학교 토목공학과 교수 (Corresponding Author · Jeju National University · [sypark@jeju.ac.kr](mailto:sypark@jeju.ac.kr))

\*\*\* (주)은덕엔지니어링 대리 (Eunduck Engineerng Co., Ltd. · [rlatmdms3@naver.com](mailto:rlatmdms3@naver.com))

Received July 4, 2019/ revised July 17, 2019/ accepted July 22, 2019

강자갈의 고갈로 인해 석산으로부터 골재를 수급하고 있으나 석산의 무분별한 개발을 제한하고 있어 골재의 수급에 어려움이 있다. 이러한 문제를 해결하기 위해 1990년대부터 국내외에서는 건설폐기물을 재활용하기 위한 연구가 많이 수행되었다. 순환골재의 품질과 대체율에 따른 콘크리트의 특성에 대한 연구(Park et al., 2003; Choi et al., 2005; Sim et al., 2006; Choi et al., 2007; Choi et al., 2018)가 대부분이며 최근에는 30 MPa 이상의 고강도 콘크리트에 대한 연구(Yang and Jeong, 2016; Yang and Kim, 2016)도 수행되어 순환골재의 적용성을 높이고자 하였다.

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. 순환골재의 함수상태에 의한 콘크리트의 역학적 특성과 관련된 초기 연구는 Oliveria and Vazquez(1996)이 수행하였다. 3가지 함수상태(절대건조(절건), 대기중 건조(기건), 표면건조포화(표건))인 순환골재를 사용하여 콘크리트를 만들고 이에 대해 강도시험과 내구성(동결-융해)시험을 수행하여 성능을 평가하였다. 강도시험에서 표건상태가 가장 낮은 강도값을 나타냈으며, 내구성 시험에서 표건 및 절건상태의 콘크리트가 일반콘크리트와 비교하여 내구성이 낮게 나타났다. Poon et al.(2004a)도 순환골재의 3가지 함수상태(절건, 기건, 표건)에서 천연골재와의 혼입율을 변화시켜 콘크리트를 배합하고 슬럼프 및 압축강도에 미치는 영향을 평가하여 최적 배합조건을 찾아내었다. Yang et al.(2005)은 동일한 배합에서 골재의 함수상태(절건, 표건, 습윤)와 골재 대체율을 변수로 하여 내구성 및 역학적 특성을 평가하여 표건상태로 배합하는 것이 콘크리트의 품질 확보에 유리하다고 발표하였다.

앞선 연구들은 모두 동일한 배합조건에서 골재의 함수상태나 순환골재의 혼입율이 콘크리트 강도와 내구성에 미치는 영향을 평가하였는데, 순환골재의 함수상태는 혼입수의 양이나 골재의 함수상태에 따라 그 영향이 변할 것으로 판단된다. 따라서 본 연구에서는 물/결합재 비와 양생 조건을 변수로 하여 순환골재의 함수상태가 콘크리트의 압축강도 특성에 미치는 영향을 평가하고자 한다.

## 2. 실험계획 및 방법

### 2.1 사용재료

실험체 제작에 사용된 순환 굵은 골재는 A기업에서 생산된 순환골재를 사용하였고, 천연 골재는 B지역 현무암 채석장에서 생산된 25 mm 이하의 골재를 사용하였다. 본 연구에 사용된 순환골재는 느슨하게 붙어 있는 골재 표면의 페이스트를 제거한 후 세척하고 약 100 °C의 건조기에서 24시간 이상 건조시킨 후 배합에

Table 1. Properties of Coarse Aggregates

Type	Properties	
	Density (g/cm <sup>3</sup> )	Absorption (%)
Natural coarse aggregate	2.62	2.59
Recycled coarse aggregate	2.22	4.83

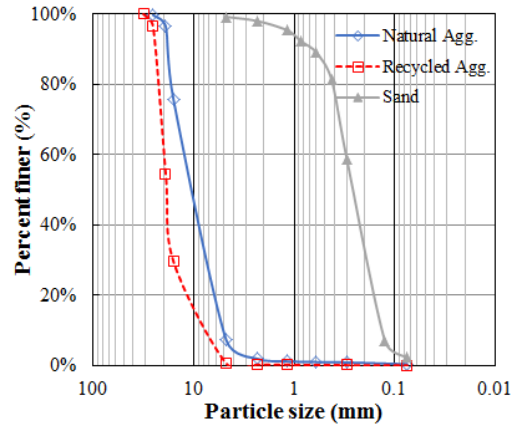


Fig. 1. Particle Size Distribution Curve of Aggregates

사용하였다. 실험에 사용된 굵은 골재는 KS F 2503(굵은 골재의 밀도 및 흡수를 시험방법)을 따라 밀도 및 흡수를 시험을 수행하였으며, 그 결과를 Table 1에 정리하였다. 본 실험에 사용된 천연골재는 다공질 현무암으로 기공이 불규칙적으로 산재해 있으며, 흡수율이 높은 특징을 갖고 있다(Yang, 2014). KS F 2527(콘크리트용 골재)에서 콘크리트용 굵은 골재는 흡수율이 3.0 % 이하이고, 절대건조밀도는 2.5 g/cm<sup>3</sup> 이상이어야 함을 규정하고 있다. 실험에 사용된 천연골재는 품질기준을 만족하고 있으나 순환골재는 흡수율과 밀도 모두 기준을 벗어나고 있다. 그러나 본 실험에서는 순환골재의 함수상태에 따른 영향을 평가하고 순환골재의 활용 가능성을 검토하기 위한 것이므로 실험에 그대로 사용하여 콘크리트의 성능을 평가하였다. 골재의 함수상태에 따른 영향을 평가하기 위하여 절건상태의 굵은 골재는 100 °C 이상에서 24시간 이상 건조시킨 후 사용하였으며, 표건상태의 골재는 배합 전 혼합수에서 48시간 이상 침수 시킨 후 체를 통해 물기를 제거하고, 수건으로 표면수를 제거하여 사용하였다. 잔골재는 서해안에서 채취하여 세척한 바닷모래를 사용하였으며, 실험에 사용된 골재의 입도분포곡선을 Fig. 1에 나타내었다.

### 2.2 실험변수 및 배합

본 실험에는 KS F 2403(콘크리트의 강도 시험용 공시체 제작 방법)에서 제시하는 지름이 100 mm이고 높이가 200 mm인 원주형 공시체를 실험체로 사용하였다. 골재의 함수상태가 역학적 특성에

Table 2. Test Parameter and Mixture Proportions

Parameter				UCS test (day)				Specimen I.D.*	Proportions (kg/m <sup>3</sup> )											
W/B ratio (%)	Curing condition	Moisture condition	Type of Coarse aggregate	3	7	28	90		Water	Cement	Sand	Coarse Aggregate		S.P. (%)						
												Natural	Recycled							
45	Moist -cured	Oven dry	Natural			5		N45D-28M	159	300	970	916		2.4 (0.8%, weight by cement)						
			Recycled			5		R45D-28M	180				895							
		Saturation	Natural			5		N45S-28M	135			940								
			Recycled			5		R45S-28M	135				940							
55	Moist -cured	Oven dry	Natural			5		N55D-28M	189			300	970		916		2.4 (0.8%, weight by cement)			
			Recycled			5		R55D-28M	210							895				
		Saturation	Natural	5	5	5	5	N55S-3~90M	165						940					
			Recycled	5	5	5	5	R55S-3~90M	165							940				
	In air	Oven dry	Natural			5		N55D-28A	189						300	970		916		2.4 (0.8%, weight by cement)
			Recycled			5		R55D-28A	210										895	
		Saturation	Natural			5		N55S-28A	165									940		
			Recycled			5		R55S-28A	165										940	
65	Moist -cured	Oven dry	Natural			5		N65D-28M	219	300	970	916		2.4 (0.8%, weight by cement)						
			Recycled			5		R65D-28M	240				895							
		Saturation	Natural			5		N65S-28M	195			940								
			Recycled			5		R65S-28M	195				940							
Total				110																

\* N/R (Type of coarse agg.) / 45~65 (W/B ratio) / D/S (Moisture condition) / 3~90 (age) / M/A (Curing condition)

미치는 영향을 평가하기 위하여 골재의 함수상태 뿐만 아니라 물/결합재비, 양생방법을 실험변수로 정하였으며, 각 변수별로 5개씩 실험체를 제작하여 총 110개의 실험체에 대해 실험을 수행하였다. 골재의 함수상태는 절건상태와 표건상태로 구분하여 배합하였으며, 물/결합재 비는 표면건조포화상태를 기준으로 배합하였다. 골재별로 단위수량을 동일하게 맞추기 위하여 절건상태의 경우 흡수율을 고려하여 배합시 혼합수를 추가하였다. 물/결합재 비는 일반적으로 사용되는 배합범위인 45~65 %를 10 %간격으로 결정하였으며, 물/결합재비가 55 %이고, 습윤양생인 실험체인 경우는 재령별 압축강도를 측정하여 강도발현 양상을 확인하였다. 또한 물/결합재비가 55 %인 경우 양생방법을 습윤양생과 대기양생으로 구분하여 양생시 수분의 변화에 따른 역학적 특성을 평가하였다. 대기양생은 공시체 제작 후 3일 뒤 탈형하여 대기 중에서 양생하였다. 실험체 제작에 사용된 변수와 배합을 Table 2에 정리하였다.

### 2.3 실험방법 및 장치

천연 및 순환골재를 사용한 콘크리트의 압축강도 시험은 KS F 2405(콘크리트 압축 강도 시험 방법)을 따라 수행하였다. 각 변수별로 5개씩 실험하였으며, 평균값을 결과분석에 이용하였다. 강도 시험은 국내 D사에서 제작한 만능재료시험기(DYHU-300TC)를



Fig. 2. UTM and Specimen Set-Up

사용하였으며, 시험기에 기록된 하중과 변위를 사용하여 결과를 분석하였다. Fig. 2는 실험에 사용된 만능재료시험기와 시험체를 설치한 모습이다.

### 3. 실험결과 및 분석

순환골재 및 천연골재의 함수상태가 콘크리트의 강도에 미치는 영향을 평가하기 위하여 물/결합재 비와 양생조건을 변화시켜 압축 강도 시험을 수행한 결과를 Table 3에 정리하였다.

Table 3. Experimental Results

W/B ratio (%)	Parameter			Specimen I.D.	Compressive strength (MPa)			
	Curing condition	Moisture condition	Type of Coarse aggregate		Age(days)	3	7	28
45	Moist-cured	Oven dry	Natural	N45D-28M			23.22	
			Recycled	R45D-28M			21.13	
		Saturation	Natural	N45S-28M			23.92	
			Recycled	R45S-28M			19.51	
55	Moist-cured	Oven dry	Natural	N55D-28M			19.65	
			Recycled	R55D-28M			18.43	
		Saturation	Natural	N55S-3~90M	10.65	15.72	21.67	26.90
			Recycled	R55S-3~90M	10.97	13.59	16.82	21.21
	In air	Oven dry	Natural	N55D-28A			17.18	
			Recycled	R55D-28A			13.18	
		Saturation	Natural	N55S-28A			19.23	
			Recycled	R55S-28A			10.99	
65	Moist-cured	Oven dry	Natural	N65D-28M			14.42	
			Recycled	R65D-28M			13.10	
		Saturation	Natural	N65S-28M			15.16	
			Recycled	R65S-28M			11.73	

3.1 골재의 함수상태 영향

절건상태 골재를 사용한 콘크리트의 압축강도에 대한 표건상태 콘크리트의 압축강도 비를 골재 및 물/결합재 비로 구분하여 Fig. 3에 도식하였다. 천연골재의 경우 골재를 표건상태로 사용하면 압축강도가 103.0~110.3 % 수준으로 증가하였으며, 순환골재의 경우는 89.5~92.3 % 수준으로 감소하였다. 순환골재가 표건상태일 때 절건상태보다 혼합수가 적음에도 불구하고 압축강도가 작아지는 것은 Poon et al.(2004a; 2004b)의 연구결과와 Neville(1996)이 언급한 내용에서 찾아볼 수 있다. Poon et al.(2004a)은 포화된 순환골재는 골재 내부에 많은 수분을 함유하고 있는데, 실험체

제작시 진동을 가하면 함수수가 골재 표면으로 흘러나와 표면과 시멘트 페이스트 사이의 부착력을 저하시켜 강도가 떨어진다고 보고 하였다. 그리고 후속으로 수행한 연구(Poon et al., 2004b)에서 보통순환골재는 천연골재보다 높은 흡수율과 공극으로 인해 골재와 시멘트풀 사이의 미세결합구조(microstructure)가 상대적으로 느슨하여 강도가 저하되는 것으로 발표하였다. 또한 Neville(1996)은 표면수가 많은 골재는 골재와 시멘트 페이스트 사이에 수분 겔(Water gel)이 형성되어 접착력이 약화된다고 지적하였다. 골재를 포화시키는 것이 흡수율이 낮은 천연골재에서는 강도발현에 유리하게 작용하지만 흡수율이 매우 높은 순환골재에서는 골재 표면과 시멘트 페이스트의 부착력을 저하시켜 강도발현에 부정적인 영향을 주는 것으로 판단된다. 그러나 Yang et al.(2005)은 천연골재와 같이 순환골재도 표면건조포화상태로 배합하는 것이 콘크리트의 품질 확보에 유리하다고 발표하였다. Yang et al.(2005)이 실험에 사용한 순환골재(1종)는 흡수율이 1.6 %인 것으로 본 실험에서 사용한 골재와 큰 차이를 나타내고 있다. 이러한 흡수율의 차이 및 실험 오차 등으로 인해 상반된 결과가 나온 것으로 추정되며, 순환골재의 흡수율과 함수상태가 역학적 특성에 미치는 영향에 대한 후속 연구가 요구된다.

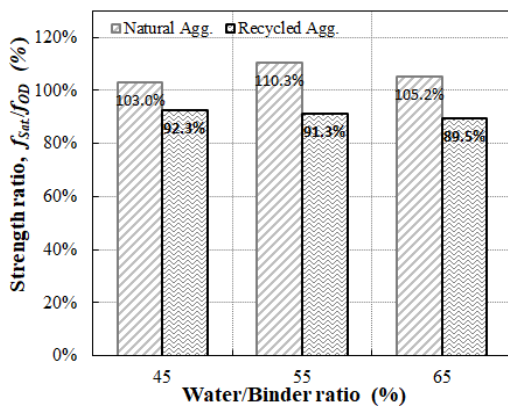


Fig. 3. Effect of the Moisture Conditions of Coarse Aggregates

3.2 물/결합재 비의 영향

물/결합재 비에 따른 압축강도를 굵은 골재의 함수상태에 따라 분류하여 골재 종류별로 Fig. 4에 도식하였다. 일반적으로 알려진 것과 같이 물/결합재 비가 증가함에 따라 압축강도는 감소하고

있으며, 골재의 종류와 함수상태에 관계없이 감소하였다. 포화된 천연골재이고, 물/결합제 비가 55 %, 습윤양생시킨 시험체의 28일 강도(N55S-28M)를 기준으로 하여 변수별 강도비를 Fig. 5에 나타내었다. 골재의 종류와 함수상태에 따라 값의 차이는 있지만, 물/결

합제 비가 증가함에 따라 천연골재와 순환골재 모두 일정한 비율로 감소하였다. 즉, 골재의 종류와 함수상태가 물/결합제 비의 변화에 따라 압축강도에 미치는 영향의 정도는 비슷하였다. 이는 골재의 함수상태로 변화하는 수분의 양보다 물/결합제 비에 의해 변화하는 수분의 양이 훨씬 많아 양생시 충분한 수분을 공급하기 때문에 골재의 함수상태에 의한 영향이 드러나지 않은 것으로 판단된다.

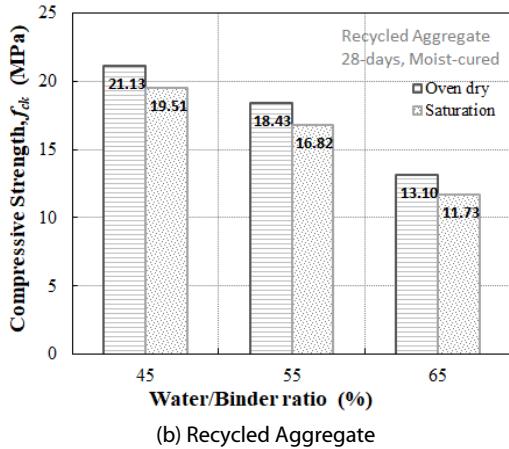
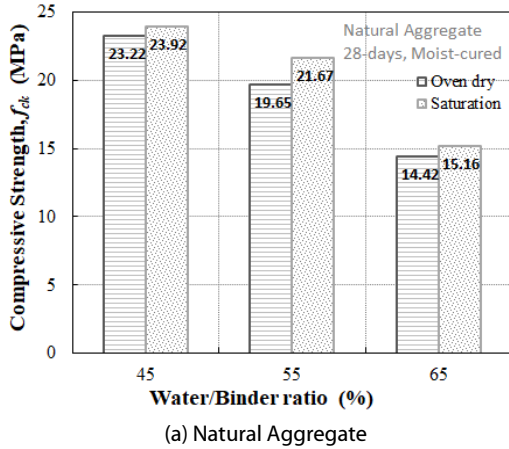


Fig. 4. Effect of the Water/Binder Ratio on Compressive Strength

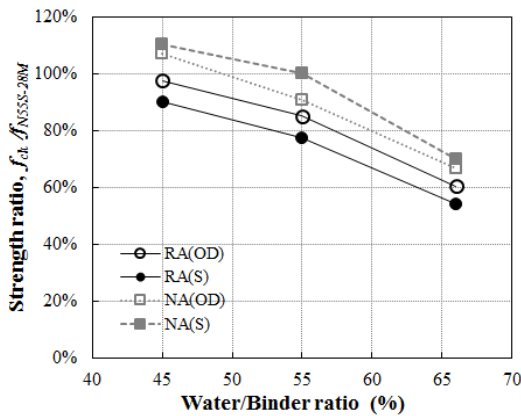


Fig. 5. Effect of the Water/Bind Ratio on Strength Ratio

### 3.3 양생조건에 따른 영향

Fig. 6은 골재의 종류와 함수상태가 다른 콘크리트의 압축강도를 양생조건에 따라 나타낸 것이다. 천연골재와 순환골재 모두 습윤양생된 콘크리트의 강도가 대기양생된 것보다 더 크게 나타났다. 이는 대기양생을 시키는 경우 콘크리트의 자유수 증발로 인해 수화작용에 필요한 물이 부족하여 습윤양생보다 강도가 저하되는 것으로 잘 알려진 내용이다.

Fig. 7은 N55S-28M 실험체의 압축강도를 기준으로 압축강도비를 양생조건에 따라 도식한 것이다. 대기양생을 시킨 경우 습윤양생보다 강도비가 감소하였으며, 천연골재를 사용한 콘크리트보다

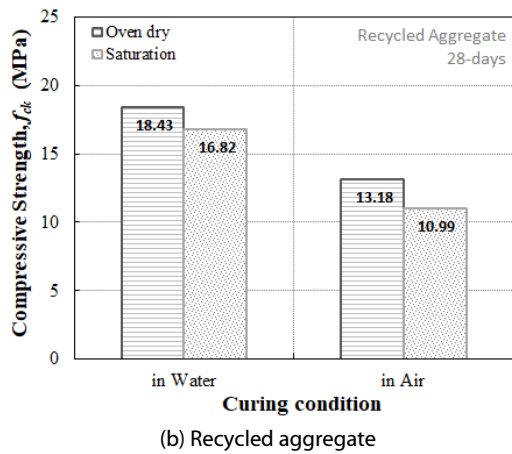
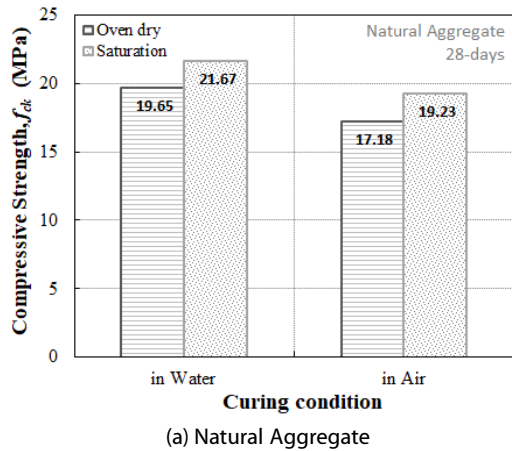


Fig. 6. Effect of the Curing Condition on Compressive Strength

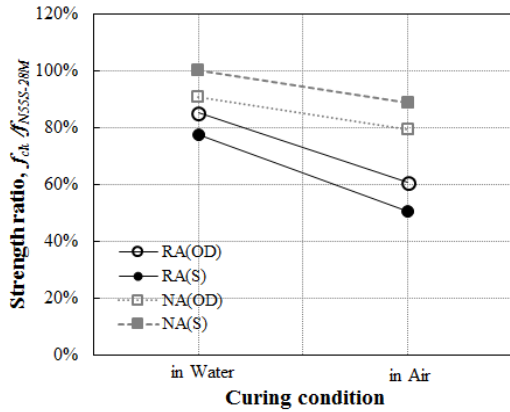
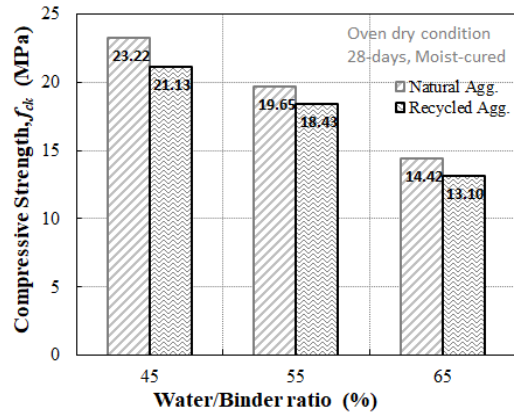


Fig. 7. Effect of the Curing Condition on Strength Ratio

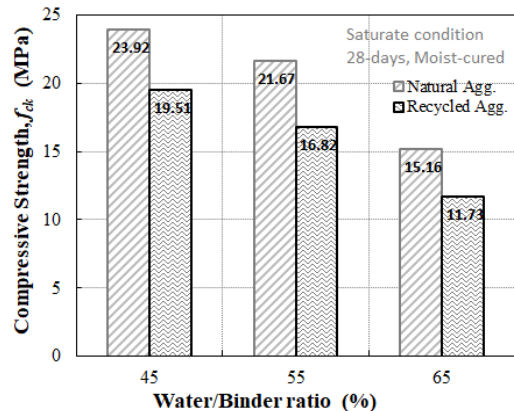
순환골재를 사용한 콘크리트의 강도비가 더 많이 감소하였다. 이는 순환골재를 사용한 콘크리트가 천연골재를 사용한 콘크리트보다 양생조건에 민감하게 반응한다는 것이다. 순환골재콘크리트의 강도비가 대기양생시 천연골재콘크리트보다 현저히 감소하는 것은 절건상태의 경우 대기양생에 의한 수분 상실 뿐만 아니라 천연골재보다 흡수율이 큰 순환골재가 콘크리트 내부의 수분을 더 많이 흡수시켜 수화시 필요한 수량을 감소시켰기 때문에 강도 발현이 저하된 것으로 판단된다. 또한 표건상태 순환골재를 사용한 경우, 대기 중에서 양생되는 동안 수분이 증발하여 콘크리트 내부의 수량이 감소하는데, 천연골재보다 흡수율이 큰 순환골재가 수분을 더 많이 함유하고자 하여 수화반응이 일어나는 시멘트 페이스트에 상대적으로 수분이 적어지므로 강도발현이 저하된 것으로 추측된다. 또한 대기양생시 콘크리트 내부의 수분이 대기 중으로 증발하기 위해서는 콘크리트 표면으로 수분이 이동해야 한다. 콘크리트의 30~50%의 용적을 차지하는 굵은골재 주위를 통하여 수분이 이동해야 하는데, 천연골재보다 흡수율이 큰 순환골재에서 수분의 이동이 훨씬 용이한 것으로 여겨진다. 따라서, 순환골재 콘크리트의 수분 증발 속도가 천연골재 콘크리트보다 빠르기 때문에 상대적으로 순환골재 콘크리트의 수화작용이 부족하여 강도가 더 크게 저하된 것으로 추정된다. 이러한 이유로 인해 순환골재를 사용하여 콘크리트를 배합하는 경우에는 천연골재를 사용하는 경우보다 강도발현에 필요한 수분을 충분히 공급하고 유지할 수 있도록 양생관리하여 적정 품질을 확보해야 할 것으로 판단된다.

### 3.4 골재의 종류에 따른 영향

순환골재와 천연골재를 사용한 콘크리트의 압축강도를 골재의 함수상태에 따라 구분하여 Fig. 8에 도식하였다. 골재가 절건상태인 경우 순환골재 콘크리트의 압축강도는 천연골재 콘크리트 대비 90.9~93.8% 수준으로 감소하였으며, 골재가 표건상태인



(a) Oven Dry Condition



(b) Saturate Condition

Fig. 8. Effect of Type of Coarse Aggregate on Compressive Strength

경우는 77.4~81.5% 수준으로 감소하였다. 이는 Etxeberria et al.(2007)이 동일한 배합에서 재생골재를 사용할 때 천연골재를 사용한 콘크리트보다 강도가 20~25%감소하는 것과 유사한 결과를 나타낸다. 골재가 표건상태인 경우 압축강도가 더 크게 감소하는 것은 앞서 설명한 바와 같이 천연골재는 표건상태로 콘크리트를 제작하는 것이 압축강도에 유리하게 작용하였으나 순환골재는 표건상태가 압축강도 발현에 불리하게 작용하였기 때문이다. 반면 순환골재의 함수상태를 절건상태로 유지한다면 천연골재 대비 약 90% 수준의 강도를 확보할 수 있으므로 구조용으로도 충분히 사용할 수 있을 것으로 판단된다. 특히 휨 부재는 연성파괴를 유도하기 위해 철근이 먼저 항복하도록 설계한다. 따라서, 콘크리트의 압축부분의 강도 저하가 구조부재의 내하력을 직접적으로 크게 감소시키지 않기 때문에 압축강도만 고려한다면 구조부재에 순환골재콘크리트를 사용하는 것이 충분하다고 판단된다. 다만, 구조부재에 적용하기 위해서는 콘크리트와 이형철근 사이의 부착강도, 순환골재 콘크리트와 천연골재 콘크리트의 내구성 등 주요사항에 대해 충분한 검토가 필요하다.

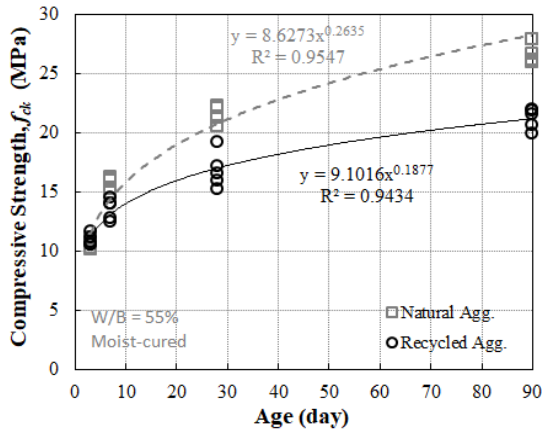


Fig. 9. Comparison of the Strength Development of Natural and Recycled Aggregate Concrete

Fig. 9는 물/결합재비가 55 %이고, 표건상태의 골재를 사용한 콘크리트의 재령별 압축강도를 천연골재와 순환골재로 분류하여 도식한 것이다. 재령 3일에는 순환골재를 사용한 콘크리트의 강도가 천연골재와 유사한 값을 나타내었으나 7일 강도부터는 천연골재 콘크리트가 순환골재콘크리트보다 큰 값을 보이고 있다. 90일 강도에서는 순환골재콘크리트는 천연골재콘크리트 대비 약 80 % 수준으로 감소하였다. 앞에서 언급한 바와 같이 순환골재에 있어서 표건상태를 유지하는 것이 강도발현에 불리하게 작용하여 압축강도가 감소하였기 때문에 순환골재의 함수상태를 절건상태로 유지하여 사용한다면 천연골재콘크리트와의 강도 차이를 현저하게 줄일 수 있을 것으로 사료된다.

#### 4. 결론

순환골재의 함수상태가 물/결합재 비와 양생조건에 따라 콘크리트의 압축강도에 미치는 영향을 실험을 통해 평가하여 얻은 결론은 다음과 같다.

- (1) 표건상태의 순환골재를 사용한 콘크리트의 압축강도가 절건상태의 골재를 사용한 콘크리트 강도보다 낮게 나타났다. 이는 천연골재보다 흡수율이 현저히 높은 순환골재는 표건상태시 골재 내부에 다량의 수분을 함유하고 있으며, 타설시 진동에 의해 함유수가 골재 표면으로 흘러나와 골재와 시멘트 페이스트 사이의 부착강도를 저하시켜 강도발현에 부정적 영향을 주기 때문으로 판단된다.
- (2) 골재의 종류와 함수상태가 물/결합재 비의 변화에 따라 압축강도에 미치는 영향의 정도는 비슷하였다.

- (3) 대기양생을 한 경우 양생기간 동안 콘크리트의 수분이 대기중으로 증발하여 수화작용에 필요한 수분을 충분히 공급하지 못하므로 강도발현이 저하되며, 순환골재의 경우 천연골재보다 높은 흡수율로 인해 콘크리트의 수분을 보다 많이 흡수하므로 수화작용에 필요한 수분을 상실하여 강도가 현저히 낮아지는 것으로 판단된다. 따라서 순환골재콘크리트를 사용하는 경우에는 더욱 특별히 수분을 충분히 공급하고 유지할 수 있는 양생환경을 조성할 필요가 있다.
- (4) 순환골재콘크리트는 일반콘크리트와 동일한 배합을 사용하는 경우 약 80~90 % 수준의 압축강도를 나타냈으며, 순환골재의 함수상태에 따라 강도의 감소폭이 변화하였다. 따라서, 순환골재의 함수상태는 콘크리트의 압축강도에 상당한 영향을 미쳤으며, 순환골재콘크리트의 품질을 확보하기 위하여 순환골재의 함수상태 관리가 필요함을 확인하였다.
- (5) 순환골재의 함수조건에 따른 콘크리트 강도에 대한 영향은 순환골재의 흡수율과 밀접한 영향을 가지므로 보다 다양한 흡수율을 가진 순환골재에 대한 추가 연구가 필요하다. 또한 순환골재의 적정 함수조건에 대한 추가 연구도 필요하다.

#### 감사의 글

이 논문은 2018학년도 제주대학교 교원성과지원사업에 의하여 연구되었음.

#### References

Choi, H. B., An, S. H., Park, H. G., Yoon, J. E., Kim, C. H. and Kang, K. I. (2005). "The study on S/A at mix design of concrete using recycled aggregate." *J. of the Architectural Institute of Korea Structure & Construction*, AIK, Vol. 21, No. 11, pp. 151-158 (in Korean).

Choi, H. B., Shin, Y. S., An, S. H., Chung, H. S. and Kang, K. I. (2007). "A properties and durability of recycled aggregate concrete." *J. of the Architectural Institute of Korea Structure & Construction*, AIK, Vol. 23, No. 9, pp. 125-132 (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." *J. of the Korean Recycled Construction Resources Institute*, RCR, Vol. 6, No. 1, pp. 8-15 (in Korean).

Etxeberria, M., Vázquez, E., Mari, A. and Barra, M. (2007). "Influence of amount of recycled coarse aggregates and production process on properties of recycled aggregate concrete." *Cement and Concrete Research*, CCR, Vol. 37, pp. 735-742.

Neville, A. M. (1996). *Properties of concrete (4th ed.)*, John Wiley & Sons., U.S.A.

- Oliveira, M. B. and Vazquez, E. (1996). "the influence of retained moisture in aggregates from recycling on the propertis of new hardened concrete." *Waste Management, WM.*, Vol. 16, No. 1, pp. 113-117.
- Park, Y. S., Ji, S. W., Lee, S. H. and Seo, C. H. (2003). "A study on the properties of concrete within recycled aggregates." *Proc. of Spring Annual Conference of AIK, AIK.*, Vol. 23, No. 1, pp. 239-242 (in Korean).
- Poon, C. S., Shui, Z. H., Lam, L., Fok, H. and Kou, S. C. (2004a). "Influence of moisture states of natural and recycled aggregates on the slump and compressive strength of concrete." *Cement and Concrete Research, CCR*, Vol. 34, pp. 31-36.
- Poon, C. S., Shui, Z. H. and Lam, L. (2004b). "Effect of microstructure of ITZ on compressive strength of concrete prepared with recycled aggregates." *Construction and Building Materials*, Vol. 18, pp. 461-468.
- 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." *J. Korean Soc. Civ. Eng.*, KSCE, Vol. 26, No. 1A, pp. 213-218 (in Korean).
- Yang, I. H. and Jeong, J. Y. (2016). "Effect of recycled coarse aggregate on compressive strength and mechanical properties of concrete." *J. of the Korea Concrete Institue, KCI*, Vol. 28, No. 1, pp. 105-113 (in Korean).
- Yang, I. H. and Kim, K. C. (2016). "Mechanical properties and predictions of strength of concrete containing recycled coarse aggregates." *J. of the Korea Institute for Structural Maintenance and Inspection, KSMI*, Vol. 20, No. 2, pp. 49-59 (in Korean).
- 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." *J. of the Architectural Institute of Korea Structure & Construction, AIK*, Vol. 21, No. 10, pp. 103-110 (in Korean).
- Yang, S. B. (2014). "Comparative study on physical and mechanical characteristics of volcanic rocks in jeju island." *J. of the Korean Geotechnical Society, KGS*, Vol. 30, No. 11, pp. 39-49 (in Korean).