

양생조건에 따른 재생골재 콘크리트의 강도 특성에 관한 실험적 연구

An Experimental Study on the strength properties of the recycling aggregate concrete by curing condition

김석원*
Kim, Seag Won

나도식*
Na, Do Sick

이동우**
Lee, Dong Woo

김병균***
Kim, Byung Kyun

Abstract

Nowadays, Government is modifying environment regulations, but PC factories, having been constructed in 1990, are running out heavy cost in disposal of waste concrete, and hardly studying how accelerator curing method affects in compressive strength. In this study, possibility that waste concrete, produced in PC factory, can be used in PC products, is reviewed, and then captures strength characteristics by curing method.

The results can be summed as follows.

In order to recycle concrete the mix ratio of recycled aggregate to 50 percent or less than must decrease also in summer of four seasons strength gap by curing method is very small.

1. 서 론

정부의 환경법적 규제가 강화되고 국내 양질의 콘크리트용 골재 부족으로 인하여 다양한 소재의 골재 활용 가능성을 모색하고 있으나 이는 대부분 환경 훼손을 전제로 하고 있다. 그러나 환경보존의 중요성과 더불어 자원 절약의 필요성이 점차 강조되고 있으므로 향후 어떠한 방법으로든 대규모 건설 폐자재 배출 당사자인 건설사의 경우 그 대책이 필요하게 될 것이다. 특히 90년대에 건립된 대형 PC 공장 대부분의 업체가 폐콘크리트 처리에 막대한 비용을 소모하고 있는 실정이다.

또한 PC 부재의 경우 건설교통부 및 대한주택공사의 표준시방서에는 콘크리트의 압축강도 시험용

* 정희원, (주)청구 기술연구소/연구원
** 정희원, (주)청구 기술연구소/팀 장
*** 정희원, (주)청구 기술연구소/소 장, 구조기술사

공시체의 관리는 부재와 동일 조건으로 양생된 공시체를 탈형시, 출하시, 보증일 압축강도를 측정하고 특히 대한주택공사에서는 표준양생 28일 압축강도도 측정하게 되어 있으나 아직까지 국내에서는 PC 공장에서의 촉진양생이 압축강도에 미치는 영향에 대한 연구가 미진한 실정이다. 따라서 본 연구에서는 PC 공장내에서 발생하는 양질의 폐콘크리트를 PC 부재 생산에 재활용 가능성을 검토하고 양생 방법에 따른 강도 특성을 파악하므로써 PC 공장에서의 재생골재 활용의 실용화에 대한 기술 축적 및 양생방법에 따른 부재의 품질관리의 기초자료를 제시하고자 한다.

2. 실험 계획 및 방법

2.1 실험 계획

본 연구는 모재를 PC로 하는 비교적 양호한 재생골재를 사용한 재생골재 콘크리트의 물리적 특성을 고찰하기 위하여 굵은골재를 재생골재로 하였고 잔골재는 여주산 강모래를 사용하였으며 재생골재에서 문제가 되고 있는 여러가지 요인을 개선하기 위해서 동일한 배합 조건의 쇄석골재 콘크리트를 제조하여 재생골재 콘크리트와 비교 분석하였다.

또한 PC 공장에서 일반적으로 행하여지고 있는 촉진양생이 강도에 미치는 영향과 후양생 방법에 따른 강도 변화의 특성을 파악하기 위하여 타설후 표준양생, 자연양생, 촉진양생을 실시하였으며 촉진양생후에도 수중양생과 자연양생을 통한 상호 비교 실험을 실시하였다.

2.2 사용재료 및 배합 설계

2.2.1 골재

굵은골재는 폐 PC Panel을 이용하여 실험실에서 제조하여 48시간 이상 Pre-Wetting 시킨 재생골재와 쇄석을 사용하였고 잔골재는 여주산 강모래를 사용하였으며 그 물리적 성질은 표 1, 표 2와 같

표 1 골재의 물리적 성질

항목 골재	비 중	단위용적 중량 (kg/m ³)	흡수율 (%/vol)	공극율 (%/vol)	마모율 (%/wt)	#200체 통과량 (%/wt)	조립율	
굵은 골재	쇄석	2.66	1,528	0.54	42.6	19.1	-	6.36
	재생 골재	2.45	1,440	4.77	41.2	34.7	-	6.50
잔 골 재	2.62	1,479	1.18	43.6	-	2.4	2.54	

표 2 모재 콘크리트의 물리적 성질

압축강도 ⁽¹⁾ (kg/cm ²)		Slump (cm)	공기량 (%/vol)	Core 압축강도 ⁽²⁾ (kg/cm ²)	조음파 속도 ⁽²⁾ (km/sec)	반발경도법에 의한 추정 압축강도 ⁽²⁾ (kg/cm ²)	단위용적중 량(kg/m ³) ⁽²⁾
1일	28일						
115	320	9.0	1.8	350	4.32	319	2,340

비고 (1) 촉진양생후 수중양생

(2) 재령 140일 기준

다.

2.2.2 배 합

콘크리트의 배합은 설계기준강도 270kg/cm²인 모래 콘크리트와 동일한 배합 조건으로 하여 굵은골재의 재생골재 대체율을 0, 50, 100 %/vol로 하여 양생 조건별 강도 변화 특성을 비교 분석하였다.

표 3 배합 설계표

배 공 합 시 체	재생골재 혼입율 (%/vol)	W/C (%/wt)	W (kg)	중량 배합(kg/m ³)					용적 배합(kg/m ³)					Slump (cm)
				C	S	G		SP	C	S	G		SP	
						N.G	R.G				NG	RG		
I	0	47.7	167	350	919	934	0	1.75	111	351	351	0	1.46	8
II	50	47.7	167	350	919	467	430	1.75	111	351	176	176	1.46	8
III	100	47.7	167	350	919	0	860	1.75	111	351	0	351	1.46	8.5

2.3 양 생

본 실험은 양생 방법에 따른 강도 변화 특성을 분석하기 위하여 양생 방법을 자연양생, 표준양생, 촉진양생후 자연양생, 촉진양생후 수중양생의 4가지 방법으로 실시하였다.

촉진양생시는 숙성도 1,000을 기준으로 하였으며 자연양생은 하절기 온도 20~40℃의 조건으로 각 재령별로 자연 방치하였고 표준양생은 수온을 20±3℃로 하였다. 촉진양생은 모래 콘크리트의 경우 동절기에 제조된 제품으로 Bleeding 시간 및 표면 마감 시간의 단축을 위해서 원적외선 System + Thermooil System에 의한 전양생 과정을 거친후 Thermooil System에 의한 방법으로만 본양생을 실시하였으며 본실험에서는 전양생과정 없이 본양생만 실시 하였다. 촉진양생 온도 Graph는 그림 1과 같다.

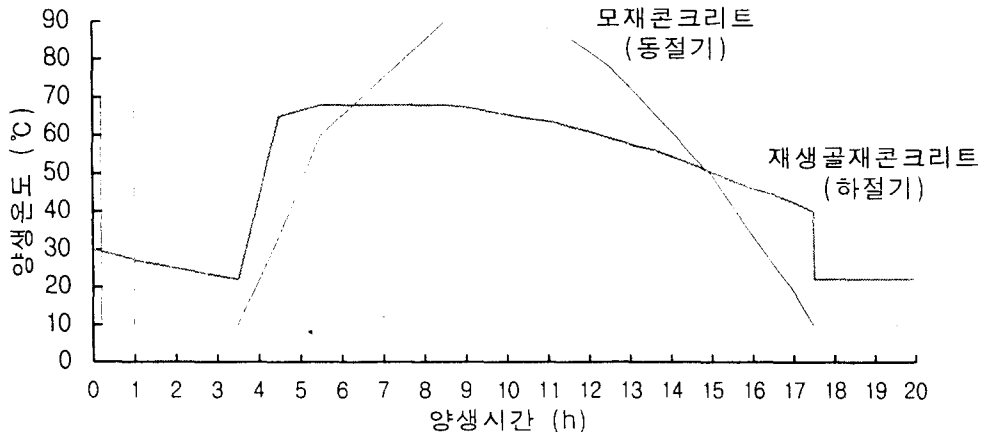


그림 1 촉진양생 온도 Graph

3. 실험 결과 및 고찰

모재콘크리트의 물성규명이 비교적 용이한 PC공장 내에서의 폐콘크리트를 활용한 재생골재 콘크리트의 압축강도 실험결과는 아래 표 4와 같다.

표 4 압축강도 결과표

(단위 : kg/cm²)

공시체 재령	I-가	I-나	I-다	I-라	II-가	II-나	II-다	II-라	III-가	III-나	III-다	III-라	IV-라
1	102	-	167	-	87	-	135	-	90	-	155	-	115
7	236	242	217	224	243	258	239	245	262	274	239	245	-
28	330	341	298	325	292	302	274	282	277	297	263	270	320

I : 재생골재 혼입율 0% / vol
 II : 재생골재 혼입율 50% / vol
 III : 재생골재 혼입율 100% / vol
 IV : 모재콘크리트

가 : 자연양생 (○)
 나 : 표준양생 (●)
 다 : 촉진양생후 자연양생 (□)
 라 : 촉진양생후 주중양생 (■)

3.1 재생골재 혼입율별 압축강도

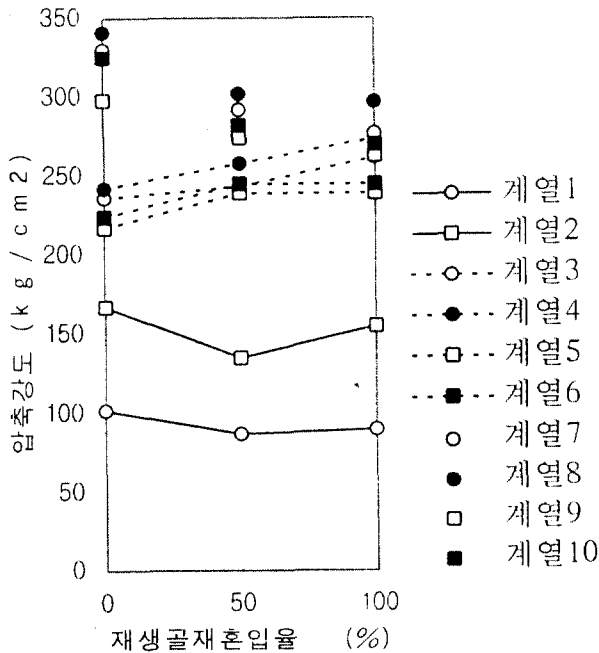


그림 2 재생골재혼입율별 압축강도

3.1.1 초기(탈형)강도

본 실험에서는 재생골재 혼입율에 따른 뚜렷한 강도변화 특성을 나타내고 있지 않았으며 촉진양생의 경우 28일 우 재생골재 혼입율에 관계없이 견고부 및 대한주택공사 표준시방서의 탈형강도 기준인 100kg/cm² 이상의 7일 값을 나타내고 있다. 자연양생의 경우 하절기에도 탈형 강도 발현을 위해서는 양생기간을 연장하여 숙성도 1,000 이상을 유지하거나, Tilt-Up 공법 등의 도입으로 탈형방법개선 등의 별도의 대책이 있어야 할 것이다.

3.1.2 장기강도

재령 7일 강도의 경우 재생골재 혼입율이 증가할수록 압축강도도 증가하는

경향을 나타내고 있다. 이는 콘크리트에 가압시 쇄석골재콘크리트는 1차적으로 골재와 시멘트 페이스트 사이의 부착면에서 균열이 발생 되었으나 재생골재를 사용한 경우 재생골재와 시멘트 페이스트와의 부착강도가 시멘트 페이스트의 강도보다 커서 시멘트 페이스트 부분의 균열이 우선적으로 발생되어 오히려 강도가 증가하게 된 것으로 사료된다. 그러나 재령 28일의 경우에는 이와는 반대로 재생골재 혼입율이 증가할수록 압축강도는 저하하는 경향을 나타내었다. 이것은 시멘트 페이스트가 어느 정도 수화하게되어 재생골재의 부착강도나 재생골재에 붙어 있는 시멘트 페이스트의 강도보다 양호하여 재생골재 쪽에서 우선적으로 균열이 발생했기 때문일 것이다. 또한 재령 28일의 경우 설계기준 강도인 $270\text{kg}/\text{cm}^2$ 이상의 강도발현을 위해서는 재생골재 혼입율을 $50\%/vol$ 이하로 하거나 배합비의 검토가 있어야 할 것이다.

3.2 양생방법에 따른 압축강도

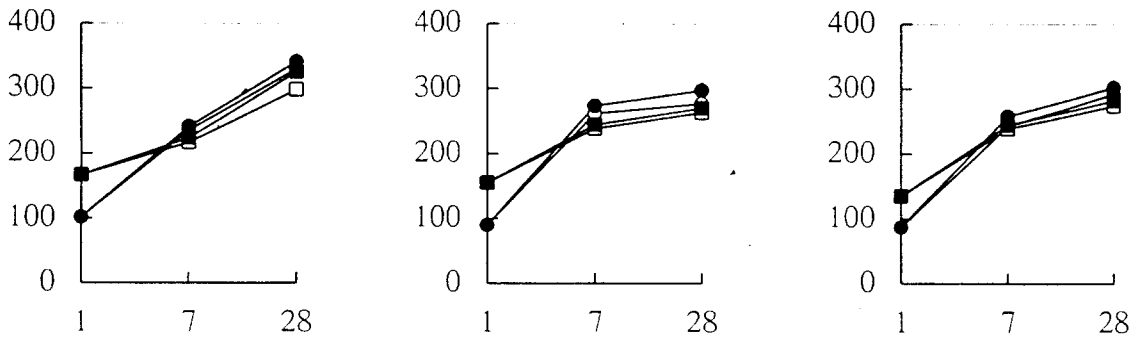


그림 3 양생 방법에 따른 압축강도

3.2.1 초기(탈형)강도

촉진양생의 경우 $135\text{--}167\text{kg}/\text{cm}^2$ 의 강도로 동일조건 배합비 재령 28일 표준양생시의 45-50%의 값을 나타내고 있다. 이는 표준양생을 행한 콘크리트의 28일 강도의 50%까지는 촉진양생 종료시에 달성할 수 있는 일반콘크리트와 비슷한 결과이다. 또한 자연양생시 보다 155-172%의 높은 강도를 나타내고 있다. 이것은 콘크리트의 주위 온도가 상승하면 수화속도가 빨라지며 이에 따라 시멘트 페이스트의 강도발현 속도도 증가하여 초기재령에서는 수화 진행에 의한 압축강도 증가의 영향이 공극이나 균열 증대에 의한 강도 감소의 영향보다 크기 때문이다.

3.2.2 장기강도

촉진양생을 행한 콘크리트의 강도는 재령 7일 이전에 보통으로 양생한 콘크리트의 강도보다 서서히 작아지기 시작하여 재령 28일에는 두 콘크리트의 강도차가 최대 10%에 달하는 것을 알수 있다. 이것은 장기재령에서는 수화속도가 감소하여 공극이나 내부균열의 증가에 의한 불리한 영향이 수화의 진행에 의한 유익한 효과보다 서서히 높아져서 종국강도는 감소하기 때문이다. 즉 촉진양생은 콘크리트 구성요소의 열팽창율의 차이에 의해 일어나는 공극의 증가나 내부 균열의 발생으로 장기 재령에 불리한 영향을 미친 것이다.

일반적으로 촉진양생후 시험 재령까지 수중양생을 함으로써 표준양생을 한 시험체와 동일한 수화도에 달하게 되어 강도가 증가하게 되나 수중양생을 하지 않은 시험체는 장기 재령강도가 상당히 저하하게 된다. 그러나 본 실험에서와 같이 외부온도가 높고 비 등에 의하여 계속적으로 수분을 공급함으로써 수중양생과 유사하게 계속적인 수화반응이 가능한 하절기에는 콘크리트의 수화에 유리한 조건으로 재령 7일에서 재령 28일 강도의 80% 정도 이상을 나타내며 수중양생을 하지 않은 시험체의 재령 28일 강도가 수중양생을 한 시험체의 92% 이상을 나타내고 있다.

따라서 하절기의 경우 부재와 동일조건으로 양생된 공시체의 별도 관리를 하지 않아도 무방할 것이다.

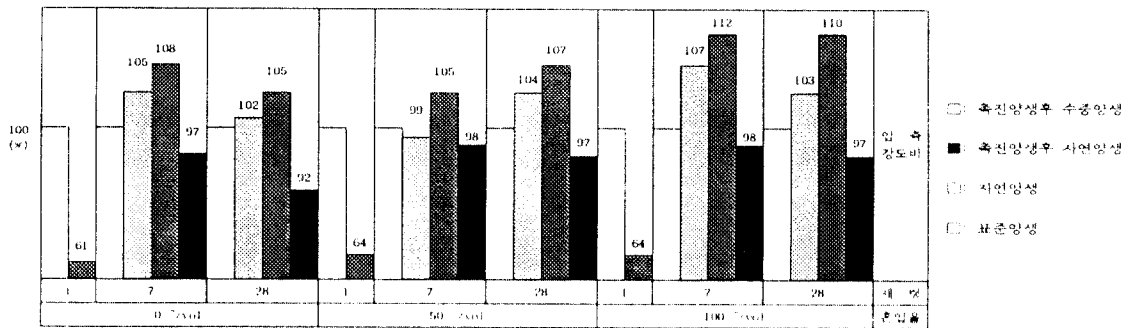


그림 4 각 양생방법별 상대강도(촉진양생후 수중양생 기준)

4. 결 론

PC공장에서 얻어지는 비교적 양호한 폐콘크리트를 활용한 재생골재 콘크리트를 대상으로 양생조건을 달리한 압축강도 시험결과는 다음과 같다.

- 1) 촉진양생에 의한 초기탈형강도는 재생골재 혼입율에 관계없이 허용기준강도인 100kg/cm² 이상의 값을 나타내었다.
- 2) 재령 28일에서 설계기준강도 이상의 값을 나타내기 위해서는 재생골재 혼입율을 50 %/Vol 이하로 하여야 한다.
- 3) 초기재령에서는 촉진양생이 자연양생보다 압축강도가 높았으나 재령 7일 이전에 역전되어 재령 28일에서는 최대 10%의 강도차를 나타내고 있다.
- 4) 하절기의 경우 촉진양생후 자연양생이 촉진양생후 수중양생 공시체 강도의 92% 이상의 값을 나타내고 있으나 동절기에는 다른 양상의 강도발현이 예상되므로 이에 대한 지속적인 연구가 필요하다고 판단된다.

● 참고문헌 ●

1. 윤재환 역, 포틀랜드시멘트 및 콘크리트, 세진사, 1990.

2. 박제선, 김태경, 이주형, 백민경, '규사성분의 산업폐기물을 혼입한 콘크리트의 역학적 특성', 한국콘크리트학회 학술발표회 논문집, 1996. pp 192-197.
3. 김생빈, 유승룡, 김동신, 최세규, '축진양생이 콘크리트의 수화 및 압축강도에 미치는 영향에 관한 연구', 한국콘크리트학회 학술발표회 논문집, 1996. pp 101-106.