

# 증기양생한 플라이애쉬 혼입 재생골재 콘크리트의 강도특성에 관한 실험적 연구

## An Experimental Study on The Strength Property of the Concrete Using Recycled Aggregate Mixed Fly Ash in Steam Curing

심종성<sup>\*</sup> 박성재<sup>\*\*</sup> 이희철<sup>\*\*\*</sup> 김동희<sup>\*\*\*</sup>

Sim, Jong Sung Park, Sung Jae Lee, Hee Cheol Kim, Dong Hee

### ABSTRACT

In practice, recycled aggregate is not used for a structural member due to its high absorbability and abrasion. It is, however, highly expected that the usage of recycled aggregate increases as the processing technique of the recycled aggregate progresses. In this study herein, the compressive strength of the recycled aggregate concrete was investigated. Coarse aggregate was replaced with 100% of the recycled aggregate, and cement and fine aggregate was replaced with various amount. The specimen was steam-cured at 80°C. It was shown that the concrete can obtain desirable strength when fine aggregate was replaced with up to 60% of recycled fine aggregate, and when cement was replaced with up to 15% of fly ash.

### 1. 서론

급발전해은 우리나라의 건설시장에 있어서 도시의 재개발 및 환경정비에 따른 폐콘크리트의 처리문제는 건설시장에 있어서 가장 시급한 문제이며 또한 고갈되어 가는 골재부족문제에 있어 가장 큰 해결방안이다. 1990년대 이후부터 재생골재에 관한 연구가 국내에서도 활발히 진행되고 있지만, 재생골재가 가지는 높은 흡수율과 마모율에 의해 구조부재로서의 사용은 실용화되지 못하고 있는 실정이다. 그러나 최근 국내 재생골재 처리기술의 발달로 인하여 KS F 2573 '콘크리트용 재생골재' 규정 기준의 1종 재생골재가 생산됨으로써 재생골재의 구조부재로의 사용이 현실화 되어가고 있으며, 그에 따른 연구가 본격적으로 진행되고 있다. 또한 석탄화력발전소의 부산물인 플라이애쉬는 시멘트에 비하여 경제성이 높으며 일반적으로 위키빌리티 향상 및 단위수량을 감소시키는 효과와 내구성, 수밀성 및 해수에 대한 화학적 저항성을 크게 하는 등의 역학적 성질을 가지고 있어서 높은 흡수율, 마모율 등 재생골재의 단점을 보완하고 재생골재와 더불어 진정한 자원의 재활용을 위한 방안으로 사용될 수 있다.

본 연구에서는 재생골재의 생산 및 활용을 극대화시키기 위한 방안으로 재생골재를 활용한 프리캐스트부재의 실용화를 위하여 재생굼은골재 100%사용과 증기양생시, 재생잔골재의 혼입율과 플라이애쉬의 시멘트 대체율에 따른 재생콘크리트의 압축강도의 변화에 관해 고찰하고자한다.

\*정회원, 한양대학교 토목환경공학과 교수

\*\*정회원, 한양대학교 토목환경공학과 대학원 박사과정

\*\*\*정회원, 한양대학교 토목환경공학과 대학원 석사과정

## 2. 실험

최근 생산된 1종 재생굵은골재는 일반골재와 비슷하거나 그 이상의 강도발현을 할 수 있다는 본 연구팀의 연구에 따라 굵은골재는 100% 재생골재를 사용하였으며, 프리캐스트 공정에 따른 고온증기양생을 실시하였다. 재생잔골재 혼입률은 0, 30, 60, 100%의 4종류, 플라이애쉬의 시멘트 대체율은 0, 15, 30%의 3종류, 총 12가지 변수로 원형 공시체를 제작하여 압축강도를 측정하였다[표1].

표 1. 시험체명 및 배합표

시험체명	재생잔골재 혼입률(%)	플라이애쉬 대체율(%)	굵은골재(g)	잔골재(g)		물(g)	시멘트(g)	플라이애쉬(g)
				일반	재생			
R0F0	0	0	925.46	0	659.10	172.58	493.09	0
R0F15		15	910.45	0	648.40	172.58	419.13	73.96
R0R30		30	895.43	0	937.71	172.58	345.09	147.93
R30F0	30	0	925.46	191.24	446.23	172.58	493.09	0
R30F15		15	910.45	188.14	438.99	172.58	419.13	73.96
R30F30		30	895.43	185.04	431.75	172.58	345.09	147.93
R60F0	60	0	925.46	369.50	246.34	172.58	493.09	0
R60F15		15	910.45	363.51	242.34	172.58	419.13	73.96
R60F30		30	895.43	357.52	238.34	172.58	345.09	147.93
R100F0	100	0	925.46	587.01	0	172.58	493.09	0
R100F15		15	910.45	577.49	0	172.58	419.13	73.96
R100F30		30	895.43	567.96	0	172.58	345.09	147.93

### 2.1 재료

실험에 사용한 재료는 표2와 같다. 사용한 재생골재의 골재실험결과 재생 굵은골재는 비중 2.55, 흡수율 1.68%, 조립율 7.86로써 KS F 2573(콘크리트용 재생골재)의 기준[표3]에 의한 1종 재생굵은골재를 확인하였으나 재생잔골재는 비중 2.28, 흡수율 6.45%, 조립율 3.22로써 흡수율이 다소 높은 2종 재생잔골재로 판명되었다. 화학혼화제는 주성분이 폴리카르본산계인 고성능 AE제를 사용하였다.

표 2. 실험사용재료

	재생굵은골재	재생잔골재	천연잔골재	시멘트	플라이애쉬
흡수율	1.68	6.45	1.01	-	-
비중	2.55	2.28	2.56	3.15	2.20
조립율	7.86	3.22	2.9	-	-
분말도(cm <sup>2</sup> /g)	-	-	-	3,200	3,725

표 3. 콘크리트용 재생골재 (KS F 2573)

흡수율(%)	콘크리트용 재생골재				
	1종	2종	3종	1종	2종
	3이하	5이하	7이하	5이하	10이하
비중	2.2이상			2.2이상	

## 2.2 콘크리트 배합

프리캐스트 교량바닥판과 같은 구조물의 경우 설계강도는  $350\text{kgf/cm}^2$  이상이 되어야 합성거동 및 공장제작에 유리하다는 기존의 연구결과에 따라 재생골재의 사용에 따른 강도저하를 고려하여 설계강도  $400\text{kgf/cm}^2$ 를 목표로 물-결합재비 35%로 재생잔골재의 혼입률과 플라이애쉬의 시멘트 대체율을 고려하여 중량배합을 실시하였다[표1].

## 2.3 양생

양생은 대부분의 프리캐스트 생산업체와 동일하게 전양생 2시간, 온도상승률  $20^\circ\text{C/hr}$ , 최고온도  $80^\circ\text{C}$ , 최고온도 지속시간 2시간, 온도하강률  $30^\circ\text{C/hr}$ 으로 증기양생을 실시하였으며, 증기양생 후 7일간 수중양생, 그 후 기건양생을 실시하였다.

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1 증기양생에 관한 강도변화 고찰

재생골재의 프리캐스트 부재화를 목표로 증기양생 실시 후 수중양생 7일, 그 이후 기건양생을 실시한 결과 증기양생한 재생콘크리트는 재생잔골재의 혼입율과 플라이애쉬 대체율에 관계없이 모두 건설교통부 표준시방서의 탈형강도 기준  $100\text{kgf/cm}^2$ 을 만족하였으며, 이는 기존 연구의 일반콘크리트의 탈형강도와 약  $100\text{kgf/cm}^2$  이상의 차이를 보였다.

### 3.2 재생잔골재의 사용에 따른 강도변화 고찰

그림 1에서 나타난 바와 같이 일반적으로 재생잔골재의 혼입율이 커질수록 강도가 감소하는 경향이 나타났고 특히 혼입률 60%이상에서의 강도감소율이 급격히 감소하는 것으로 나타났다. 이는 잔골재의 혼입율이 커질수록 재생잔골재에 남아있는 부착모르타르에 의한 시멘트 페이스트의 결합력 및 강도저하, 공극 증가, 물-시멘트비의 증가, 재생굼은골재 생산시 파쇄 공정에서 발생한 미세 균열 등의 여러 가지 원인에 따른 결과로 사료된다.

### 3.3 플라이애쉬의 시멘트 대체율에 따른 강도변화 고찰

그림 1에서 나타난 것처럼 재생잔골재와 유사하게 플라이애쉬를 대체한 콘크리트의 경우도 플라이애쉬의 혼입량이 많아질수록 강도가 작게 나타났다. 이것은 플라이애쉬에 의한 영향이라기보다는 재생잔골재의 영향이 더욱 큰 작용을 하기 때문인 것으로 사료된다. 또한 그림 2에서 나타난 것과 같이 재생잔골재 60%사용시의 강도변화는 플라이애쉬 대체율이 15%일 때 초기강도는 낮지만, 장기강도의 증가가 클 것으로 예상된다.

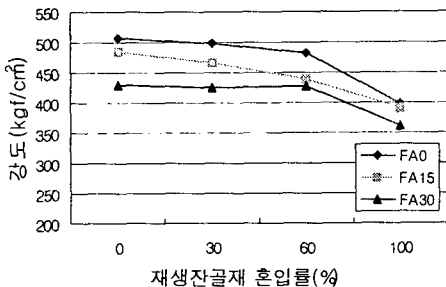


그림 1 재생잔골재의 혼입율에 따른 강도변화(28일)

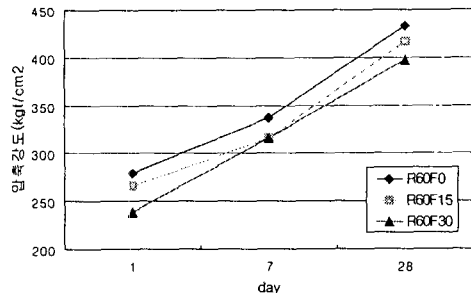


그림 4 플라이애쉬 대체율에 따른 강도변화(R=60%)

#### 4. 결론

본 연구에서는 재생골은골재 100%사용, 증기양생시의 재생골재의 혼입률과 플라이애쉬의 시멘트 대체율에 의한 강도변화를 고찰하였으며 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 재생골재의 혼입률을 변수로 공시체의 압축강도를 측정한 결과, 일반적으로 혼입률이 증가할수록 압축강도는 감소하는 경향을 나타낸다. 이는 재생콘크리트에 남아있는 부착모르타르에 의한 것으로서 특히 혼입률 60%이상에서는 강도감소가 급격하게 나타나므로 재생골재의 혼입률을 60% 이하로 사용하는 것이 바람직하다고 판단되어진다.
- 2) 강도감소가 다소 적은 혼입률 60%일때의 강도를 살펴보면, 플라이애쉬 30%일 경우에 물시멘트비의 변화에 따라 조기강도가 소요강도를 충족시키지 못할 수도 있다는 것을 감안하면, 플라이애쉬 15%대체사용이 강도발현에 있어서 가장 적합한 혼합비라는 것을 알 수 있었다. 또한 일반콘크리트의 경우에서와 유사하게 플라이애쉬의 대체율에 따라 조기강도는 감소하지만 28일이후의 장기강도가 증가할 것으로 사료된다.
- 3) 플라이애쉬를 사용함으로써 28일 압축강도는 감소하는 경향을 나타내었지만, 이는 플라이애쉬의 영향보다는 재생골재의 영향이 더욱 크기 때문인 것으로 사료된다. 그러나 플라이애쉬의 사용으로 콘크리트내부가 밀실해짐으로써 내구성 향상이 기대가 되고, 내구성이 문제시되는 재생골재의 활용에 기여할 것이다.
- 4) 플라이애쉬를 혼입한 재생콘크리트를 증기양생한 결과 모든 공시체의 압축강도가 건설교통부 표준시방서의 탈형강도기준을 만족하였으며, 일반콘크리트의 탈형강도와 약  $100\text{kgf/cm}^2$  이상의 차이를 보였으며 28일 압축강도 또한 설계강도를 넘어서, 내구성과 장기강도만 확보된다면 재생골재의 프리캐스트 구조부재로의 사용이 가능할 것으로 사료된다.

#### 감사의 글

본 연구는 한국환경기술진흥원에서 주관하는 “2003 차세대 환경 핵심기술개발사업, 폐콘크리트의 고부가가치 자원화 기술개발에 관한 연구”의 일환으로 수행되었으며, 저자들은 한국환경기술진흥원의 후원에 감사의 뜻을 전합니다. 또한 1종재생골재와 플라이애쉬를 지원해준 (주)인선ENT와 (주)삼표에도 감사의 뜻을 전합니다.

#### 참고문헌

1. 구봉근, 류택은, 이재범, 양승규, “플라이애쉬를 혼합한 재생골재 콘크리트의 강도 및 동결융해 특성”, 한국콘크리트학회 가을학술발표회 논문집, 1999
3. 문대중, “플라이애쉬 혼합 콘크리트의 현장적용을 위한 기초적 성질에 대한 연구”, 한양대학교 박사학위 논문, 1998
4. 심종성, 박성재, 이희철, 김용재, “재생콘크리트의 프리캐스트화를 위한 실험적 연구”, 한국콘크리트학회 봄학술발표회 논문집, 2003
5. 이세현, “재생골재콘크리트의 성능개선에 관한 연구”, 건국대학교 박사학위 논문, 2000
6. 이진용, 배성용, “증기양생이 플라이애쉬콘크리트 강도발현에 미치는 영향” 한국콘크리트학회 논문집 제 10권 1호 1998. 2