

재생미분말을 사용한 콘크리트 제품 개발에 대한 기초적인 연구

The Fundamental Study on Development of Concrete-Product by Using Recycled Concrete Powder

선정수* 김하석* 곽은구** 전명훈*** 김봉주**** 김진만****
 Sun Joung-Soo Kim Ha-seok Kawg Eun-Gu Jun Myoung-Hoon Kim bong-ju Kim Jin-Man

Abstract

The quantity of Recycled concrete powder is increased, because it has been ever so often crushing for production of a good quality recycled aggregates This Study is on the Development of Concrete-Product by Using Recycled Concrete Powder and also for know performance of concrete-produced having low water contents and it is to know for all of performance of concrete-produced having low water contents

The conclusions of this study are following. The use of replacement cement is not effective, because it has strength of less than 10MPa But It is possible to develop high strength concrete-produced having 39MPa above compressive strength by using recycled concrete powder. Because strength enhancement effects by recycled concrete powder are responsible to optimum grading.

The conclusions of this study are following. The use of replacement cement is not effective, because it has strength of less than 10MPa. It is possible to develop high strength concrete-produced having 39MPa above compressive strength by using recycled concrete powder. Because strength enhancement effects by recycled concrete powder are responsible to optimum grading.

키워드 : 콘크리트 제품, 재생미분말,
 Keywords : concrete-produced, recycled concrete powder

1. 서론

도시의 재개발, 환경정비, 건물의 노후화 및 기능 저하로 인한 해체 공사의 증가로 폐콘크리트의 발생은 지속적으로 증가될 것으로 예상되며 경기도 판교의 신도시 건설, 행정복합도시의 이전 등에 의한 건설 경기의 활성화로 양질의 골재가 부족하게 될 것이다. 이에 천연 골재의 부족 현상을 보완하기 위한 일환으로 폐콘크리트를 이용, 새로운 골재원으로 활용하는 것은 매우 높은 가치를 가지고 있을 것으로 판단된다. 그러나 이전까지는 발생되는 폐콘크리트의 대부분이 도로포장 및 기타 포장 하층노반재료, 매립 등의 단순용도로만 사용되고 있어 건설용 골재로서 적극적인 활용이 이루어지지 못하는 실정이다. 1990년대 이후 순환골재 및 순환골재콘크리트에 관한 연구는 매우 다양하게 이루어져왔으나, 아직까지 현장 실용화가 이루어지지 못하고 있으며 그런 이유는 골재의 품질 저하, 골재 수급 및 경제성, 그리고 제도적인 측면이 미비하였기 때문이다. 이런 의미에서 2005년 8월 순환골재 품질기준안의 마련은 재생골재의 활용 용도를 다양하게 제안하여 재활용을 촉진하는 방면에 콘크리트용 골재로 활용할 수 있도록 제도적으로 지원

이 되었으며, 2006년 4월에 공고된 순환골재품질인증제도(시행일 2007년1월)는 순환골재의 활발한 보급 및 순환골재의 품질 향상을 촉진하는 계기가 되었다.

순환골재를 고품질 및 품질 향상을 위해서는 파쇄 횟수의 증가에 따라 미분말도 증가하는데 보통 폐콘크리트를 고품질 골재로 생산할 경우 약 30%는 재생 굵은 골재를 나머지 70%는 재생 세골재와 재생 미분말이 대부분 차지하는 것으로 보고되고 있다. 순환골재의 경우에는 앞에서 언급한 바와 같이 제도적인 측면과 연구가 많이 진행되었으나, 재생 미분말에서는 국내적으로 연구가 미흡하여 사용이 거의 되지 않고 매립에 의존하고 있는 실정이다. 그러나 국외에서는 워커빌리티 개선제, 콘크리트용 혼화제, 아스팔트용 필러, 고품분 로반재, 시멘트 원료, 매립 주입재 등 많은 연구가 진행 중이다.^{1), 2)}

따라서 본 연구에서는 재생미분말에 대한 연구로써 콘크리트나 시멘트의 대체재로 사용할 경우 실용성을 갖추지 못하기 때문에 실용성을 우선시하여 콘크리트 제품의 원료로 사용 가능성을 검토하였다. 콘크리트 제품의 원료인 시멘트와 골재에 대하여 대체재로 사용 가능한지를 검토하여 재생미분말도 활용 가능하다는 것을 제시하고자 한다.

* 정회원, 공주대학교 대학원 건축공학과, 석사과정
 ** 정회원, 공주대학교 RRC/NMR 전임연구원
 *** 정회원, 대한주택공사 책임연구원
 **** 정회원, 공주대학교 건축공학과 부교수

2. 콘크리트 제품 개발

본 연구에서는 콘크리트 제품 생산 방식에 따라 검토하였으며, 시멘트의 대체재로 사용할 경우 진동가압성형방법을 적용하였고 골재대체재로는 압출성형제조에 골재 대체 개념으로 사용하였다.

2.1 시멘트 대체재로 활용 가능성 검토

2.1.1 실험 계획

진동가압성형 제품에 있어 시멘트 대체재에 대한 실험 계획은 표1과 같으며, 실험 수준은 재생 미분말 대체율 0, 10, 20, 30, 40(%)로 5수준이고 측정항목으로는 현장 조건을 고려하여 재령 3, 7일에 대한 압축강도를 측정하였다.

표 1. 실험계획 및 배합

W/C (%/wt)	재생미분말대체율 (%)	중량비 (%wt)			측정항목	측정재령 (일)
		시멘트	재생미분말	골재		
28.7	0	7.52	0	8.63	압축도	3, 7
	10	6.77	0.752	8.63		
	20	6.02	1.504	8.63		
	30	5.26	2.256	8.63		
	40	3.00	4.52	8.63		

2.1.2 사용재료

시멘트는 국내 S사의 보통 포틀랜드 시멘트로 KS L 5201 1종 규격품을 사용하였으며, 잔골재로는 강모래와 부순 모래로 물리적 특성은 표 2와 같다.

표 2. 사용 재료의 물리적 특성

시멘트	보통포틀랜드시멘트 밀도 : 3.15, 분말도 : 3,465cm ² /g
잔골재	강사, 조립율 : 2.47, 최대입경 : 5mm 밀도(g/cm ³) : 2.64
	쇄사, 조립율 : 3.11, 최대입경 : 5mm 밀도(g/cm ³) : 2.64

2.2 골재 대체재로 활용 가능성 검토

2.2.1 실험 계획

재생 미분말을 사용한 콘크리트 제품 개발에 대한 실험 계획은 표3과 같으며, 실험 수준은 재생 미분말 대체율 0, 25, 50, 75, 100(%)과 양생 조건에 대한 실험을 실시하였다. 양생 조건은 현장 조건과 실험실 조건으로 나누어 재생미분말에 적합한 조건을 선정하고자 하였다. 측정항목으로는 재령별 압축강도와 부착강도를 측정하였다.

표 3. 실험계획 및 배합

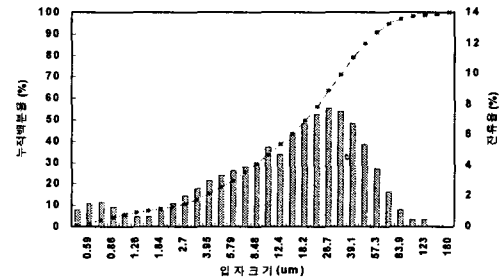
W/B (%/wt)	재생미분말대체율 (%)	중량비 (%wt)					측정항목	측정재령
		시멘트	골재		혼화제			
71.0	0	48.38	51.62	0	0.2	0.75	압축도 부착도	1, 3, 7, 28 (일)
	25	48.38	38.72	12.91	0.2	0.75		
	50	48.38	25.81	25.81	0.2	0.75		
	75	48.38	12.91	38.72	0.2	0.75		
	100	48.38	0	51.62	0.2	0.75		

2.2.2 사용재료

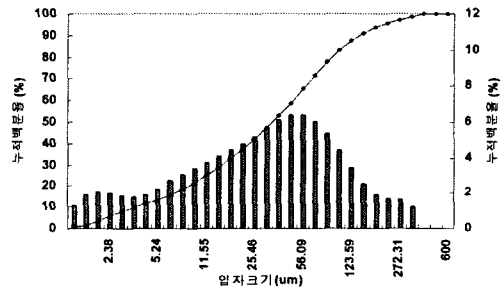
시멘트는 국내 S사의 보통 포틀랜드 시멘트로 KS L 5201 1종 규격품으로 그 물리적 특성은 표 2와 같다. 규사분은 충북 금평에서 생산되고 있는 제품이고, 재생미분말은 충남 천안에 위치한 재생 골재 생산업체에서 얻은 것으로 화학적 조성은 표 4와 같다.

표 4. 화학적 조성

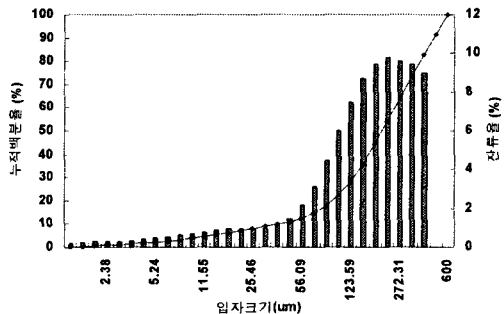
구분	SiO ₂	Al ₂ O ₃	TiO ₂	P ₂ O ₅	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	SO ₃	Lg-loss
규사분 (%)	90.04	4.35	-	-	1.94	0.86	0.14	0.82	-	-	1.56
재생미분말 (%)	61.67	9.88	0.24	0.07	2.41	9.20	0.97	2.64	0.00	0.72	12.19



a. 시멘트 입도 곡선



b. 규사분 입도 곡선



c. 재생미분말 입도 곡선

그림 1. 재료의 입도 분포 곡선

2.3 시험체 제작방법

시험체의 제작 순서는 진동가압은 전식, 습식 후에 진동 10초에 가압 8kg/cm²로 가압후 진동 10초로 성형하였다. 압출성형에서는 분말인 재료들을 팬타입 믹서기를 이용하여 비빔을 실시, 압출성형기를 사용하여 시험체를 제작하였다.

시험체의 양생은 진동가압성형에서 최고 온도 80℃로 하였으며(상승 3H, 유지 2H, 방치6H) 압축성형에서는 2수준으로 현장 조건(최고 온도 60℃로 이후 60℃로 표기함)과 실험실 조건(최고 온도 80℃로 이후 80℃로 표기함)으로 나누어 실시하였다.

2.4 측정방법

2.4.1 압축강도

재생미분말의 사용한 콘크리트 제품의 압축강도는 KS L 5105 수경성 시멘트 모르타르의 압축강도시험 방법에 준하였다.

2.4.2 부착강도

본 실험의 부착강도 측정은 KS L 1206시멘트에 대한 타일의 부착강도 측정 방법에 준하였다.

3. 실험결과 및 분석

3.1 시멘트 대체재에 대한 시험체 검토

3.1.1 압축강도

재생미분말의 시멘트 대체율에 따른 압축강도는 그림 2와 같다. 실험 결과 재령과 상관없이 모든 재령에서 재생미분말 대체율의 증가에 따라 압축강도는 감소하는 것으로 나타났으며 재령에 따른 강도변화는 대체율이 작을수록 강도가 증가하는 것으로 나타났다. 강도차이를 보면, 재생미분말 대체율 0%에서는 약 20MPa를 강도를 보이고 있으며, 대체율 40%에서는 약 10MPa로 차이가 10MPa로 나타나고 있었다. 이는 재생미분말에 미수화시멘트가 거의 없어 반응에 영향을 주지 못한 원인과 평균 입경이 시멘트보다 매우 굵어서 반응에 전혀 기여하지 못한 것으로 해석 된다. 따라서, 시멘트 대체재로 사용하기 위해서는 재생미분말의 입도를 작게 할 필요가 있다.

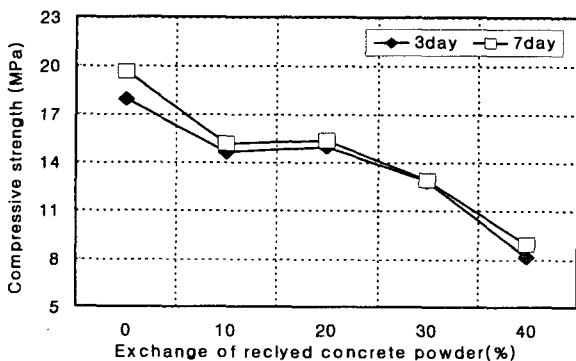


그림 2 재생 미분말 대체율에 따른 압축강도

3.2 골재 대체재로 대한 시험체 검토

3.2.1 압축강도

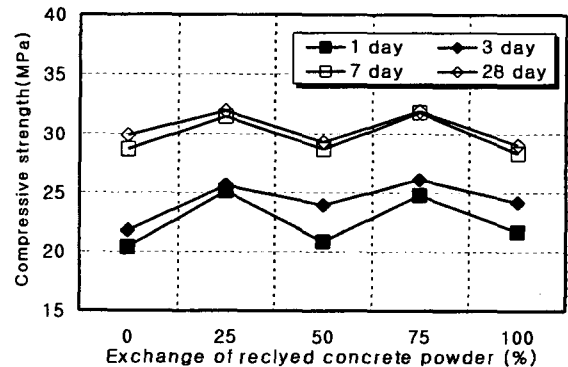
재생미분말의 대체율에 따른 압축강도를 실험한 결과 표 5와 그림 3과 같다. 실험 결과 모든 재령에서 재생미분말 대체율 증가에 따라 압축강도는 증가하는 것으로 나타났으며, 재생미분말 대체율 100%일 때 가장 높은 강도를 발현하고 있다.

이는 재생미분말의 골재 대체율이 증가할수록 시멘트의 수화이론 보다는 최밀축진이론으로 접근하는 것이 타당하다. 양생 조건으로 80℃일 때가 60℃에 비해 높은 강도를 보이고 있는데, 이는 양생 온도가 높을수록 시멘트의 칼슘실리케이트 광물의 수화속도를 촉진하기 때문이다. 60℃ 양생의 경우 가장 높은 압축강도는 재생미분말의 골재 대체율 75%에서 32MPa로 나타나였고, 양생온도 80℃의 경우는 재생미분말의 골재대체율 100%일 때 가장 높은 압축강도 39MPa를 나타내었다.

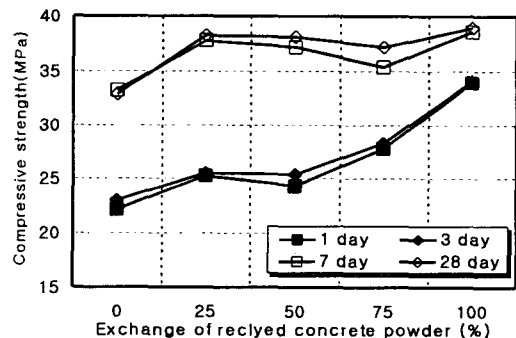
표 5. 재생미분말 대체율에 따른 재령별 압축강도

재생미분말 대체율(%)	압축강도(MPa)			
	1 일	3 일	7 일	28 일
0	22(20)	23(22)	33(29)	33(30)
25	25(25)	26(26)	38(31)	38(32)
50	24(21)	25(24)	37(29)	38(29)
75	28(25)	28(26)	35(32)	37(32)
100	34(22)	34(24)	39(28)	39(29)

주) 강도 표기 시 온도 80℃(60℃)로 표기함.



a. 양생 온도 60°C에 대한 압축강도



b. 양생 온도 80°C에 대한 압축강도

그림 3 재생 미분말 대체율에 따른 압축강도

3.2.2 부착강도

앞서 기술한 바와 같이 매립콘은 콘크리트 측압에 견디기 위하여 철근과의 부착강도가 매우 중요한 인자의 제품이기에 재령별 부착강도를 측정하였으며, 그 결과는 아래 표 6과 같다.

표 6. 재생미분말 대체율에 따른 재령별 부착강도

재생미분말 대체율(%)	부착강도(MPa)		
	3 일	7 일	28 일
0	2(3)	3(3)	4(3)
25	3(3)	3(4)	4(5)
50	3(3)	4(3)	8(5)
75	4(4)	4(5)	6(6)
100	4(4)	5(4)	5(5)

주) 강도 표기 시 온도 80℃(60℃)로 표기함.

실험 결과는 양생 온도에 상관없이 재생 미분말 대체율이 증가함에 따라 부착강도도 증가하는 것으로 나타났으며 재령 28일에서 재생미분말 대체율 50(%)가 최고 강도인 8 MPa에 도달하는 것으로 나타났다.

양생 온도별로 보면 온도 60℃에서 가장 높은 부착강도를 보이고 있으며 대체율 75(%)에서 6MPa이었다. 온도 80℃에서는 재령 7일까지는 대체율이 증가함에 강도도 증가하는 것으로 나타났으나, 재령 28일에서는 대체율 50(%)가 가장 높은 부착강도를 나타냈다.

3.2.3 실적율

재생 미분말 대체율에 따른 실적율을 검토한 결과 그림 4와 같이 양생온도에 상관없이 재생미분말 대체율이 증가함에 따라 실적율도 증가하는 것으로 나타났다. 재생미분말 25(%)이하에서는 온도의 변화에 대한 차이가 나타나지 않았으나, 대체율 50(%)이상에서는 온도가 높을수록 실적율이 높은 것으로 나타났으며, 이는 온도가 상승함에 따라 수화가 활발히 이루어져 공극을 채워 준 것과 재생미분말의 입도가 규사분과 시멘트와의 적정 입도 분포를 가지게 되어 실적율이 높은 것으로 사료되었다.

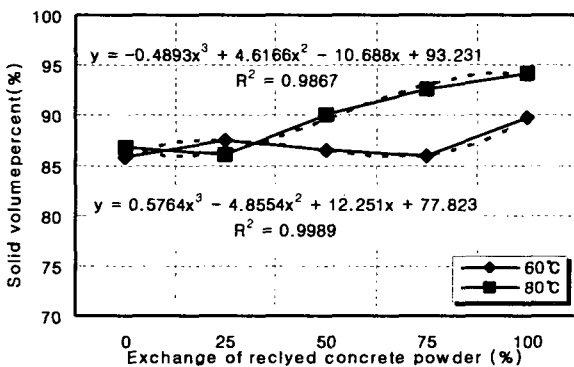


그림 4 재생 미분말 대체율에 따른 실적율

4. 결론

재생미분말을 사용한 콘크리트 제품 개발에 대한 실험적 연구의 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 시멘트 대체재로 활용할 경우 대체율이 증가함에 따라서 압축강도가 현저히 낮아짐을 볼 수 있다. 특히 40%대체시 10MPa 이하로 떨어져 성능확보가 어려운 것으로 사료된다.
- 2) 골재 대체재로 활용할 경우 재생 미분말의 대체율이 증가함에 따라 압축강도도 증가하는 것으로 나타났으며, 가장 높은 강도는 39MPa로 품질을 확보할 수 있었다.
- 2) 강도 발현에 대한 원인 규명은 재생미분말의 입도가 규사분보다 커서 시멘트와 적정 입도 분포를 이루어 최밀입도에 근사하여 작용한 것으로 사료된다.
- 3) 수량을 적게 사용하여 제조하는 콘크리트 2차 제품의 경우에는 증기 양생 온도가 80℃가 경화체의 강도 증진에 기여하는 것으로 나타났으며, 적정 온도 분포에 대한 실험이 필요하다.
- 4) 순환골재 생산시 발생하는 미분말을 콘크리트 제품의 원료 중 시멘트 원료가 아닌 골재의 원료로 사용하는 것이 타당할 것으로 사료된다.

감사의 글

본 연구는 건설교통부 05건설핵심기술연구개발사업(과제번호:05건설핵심D02)의 지원에 의하여 대한주택공사와 공주대학교 자원재활용신소재지역혁신센터(RIC/NMR)가 공동으로 수행한 연구의 일부로 관계 기관에 감사의 말씀을 올립니다.

참고 문헌

1. 横山 滋 : セメント原料への利用, コクリート工學, Vol.35, No.7, pp.49-52, 1997. 7
2. 嘉門雅史 : 地盤改良材への利用, コクリート工學, Vol.35, No.7, pp.53-56, 1997. 7
3. 崔 敏壽, 阿部道彦, 南波篤志 : 再生骨材の粒子構成の特性, セメント・コンクリート論文集, No.49, pp.336-341, 1995. 5
4. P. Kumar Mehta, Paulo J. M. Monteiro ; CONCRETE (Structure, Properties, and Materials), 2nd Edition, Prentice Hall, 1993 °
5. Portland Cement Paste and Concrete
6. 선정수 외 ; 재생미분말의 활용 방안에 대한 기초적 실험에 관한 연구. 06년 춘계 폐기물 학회지
7. 김진만 외 ; 폐콘크리트의 재활용 한국콘크리트학회지 제15권,2호 pp14-20, 2003
8. 김무한 외 ; 재생콘크리트의 특성, 한국콘크리트학회지 제15권2호 pp60-67, 2003
9. 김진만, 조성현 ; 건축용 콘크리트 공장제품의 현황, 한국콘크리트학회지, 제14권6호 pp22-31, 2002
10. 이대경 외 ; 낮은W/C비를 갖는 콘크리트 제품에 대한 폐주물사의 적용 한국콘크리트학회 2001년 학술발표
11. 광은구 외 ; 낮은물시멘트비를 갖는 콘크리트 제품의 압축강도에 미치는 잔골재의 입도분포, 한국콘크리트학회, 2001년 가을 논문집 pp89-92
12. 김진만 외 ; 재생미분말을 사용한 콘크리트 제품 개발에 대한 기초적 연구, 대한건축학회, 제24권6호, 2003