

미세분급 방법 개선에 의한 재생시멘트의 성능 평가

An Evaluation on the Performance of Recyclable Cement by Micron Separating Method

○ 홍영태*

Hong, Young-Tae

김세영*

Kim, Sae-Young

고은혜*

Ko, Eun-Hye

오상균**

Oh, Sang-Gyun

Abstract

In this study, there is purpose that is on a concrete defect happen from aggregate minute's particle mixing in process that make waste concrete as recyclable cement puts to practical use constructing basic data for design of mix proportion used recyclable cement and solves strength fall problem using micron separator, and does general recyclable cement high quality.

As a result of X-ray diffraction(XRD) of rater HR-C than NR-C is aware that it come out the micron-separating to decrease the SiO₂-peak below 50%. And a construction field which apply for strength's 24-28MPa HR-C in order to realize NR-C of 44% and 51%. Recycle concrete capacity through improved recycle cement of manufacturing technique by micron-separating's new distribution more better improvement. Therefore, in this study, it need to more various study a recycle cement of high quality for reasonable and utility recycling than disposal concrete.

키워드 : 페콘크리트, 분급방법, 고품질 재생시멘트, 강도특성

Keyword : Waste Concrete, Separating Method, High-quality Recyclabe Cement, Strength Property

1. 서론

콘크리트는 건축 및 토목 구조물에 널리 사용되는 재료로서 내구, 내화, 내수 및 압축강도 등이 크다는 장점이 있는 반면, 한번 사용한 후 재활용이 어렵다는 것이 가장 큰 단점이다. 이에 건축물의 철거와 재개발로 인하여 페콘크리트가 급증하는 가운데 단순 버림에 의한 소극적인 처리방법에서 재생골재 생산 및 슬러지 재이용 등 적극적인 폐기물 재활용에 관한 연구가 최근 활발히 진행되고 있다.¹⁾ 현재 콘크리트 폐기물의 재활용 수준은 성토, 복토용으로 사용되는 재생 잔골재가 실용화 단계에 있으며, 재생 굵은골재 또한 재활용 연구가 활발하여, 다시 콘크리트 골재로 사용되는 단계에 있다. 그럼에도 불구하고 재생골재의 재활용 시 생기는 시멘트 미분말에 대한 연구는 그다지 많지 않으며, 페콘크리트 미분말을 이용한 재생시멘트가 개발단계에 있을 뿐, 실용화에는 많은 문제점들이 있다. 재생시멘트를 100% 사용하여, 모르타나 콘크리트 배합에 사용하기에는 페콘리트 파쇄 과정에서 생기는 잔골재 미분말이 재생시멘트에 다량 함유되어 압축강도가 일반콘크리트에 비해 많이 떨어지는 문제점이 있다.²⁾

재생시멘트를 고품질화 하기 위해서는 페콘크리트 미분말 속에 포함되어 있는 파쇄된 골재의 미분을 수화시멘트 경화체(Hydrated-Cement Paste 이하 : HCP)로 미분을 보다 효과적으로 분급시키는 것이 가장 중요한 과제이다. 현재까지 보편적으로

* 정희원, 동의대학교 건축공학과 대학원 석사과정, 정희원

** 정희원, 동의대학교 건축공학과 조교수, 정희원

사용되어지고 있는 체가름에 의한 페콘크리트 미분말의 분급에는 한계가 있으며, 다량의 골재 미분이 HCP속에 포함되어 강도의 저하 등 낮은 품질의 재생시멘트를 제조할 수밖에 없었다.

따라서 본 연구에서는 재생시멘트의 품질개선을 목적으로 정밀분급기(미크론 세퍼레이터)에 의한 분급과정을 재생시멘트 제조과정에 추가함으로써 기존의 체가름에 의한 분급방법을 개선하고, 고품질재생시멘트를 제조하여 그 특성을 실험적으로 검토하고자 한다.

2. 실험개요

2.1 사용재료 및 물성

본 연구에 사용 되어진 재료 및 물리적인 성질은 표 1과 같다.

표 1. 사용재료의 물리적 성질

사용재료	물리적 성질	기호
시멘트	보통포틀랜드시멘트 비중: 3.15 비표면적: 3200cm ² /g	C
보통재생시멘트(1)	비중: 2.80	NR
고품질재생시멘트(2)	비중: 2.63	HR
고성능AE감수제	폴리카르본산계 SP-8K 비중: 1.07±0.302	SP
쇄사	비중: 2.69 흡수율: 0.92 조립률: 2.62	S

(1) 체가름에 의해 제조 되어진 재생시멘트(이하 보통재생시멘트)

(2) 미크론 세퍼레이터에 의해 2차분급되어진 재생시멘트
(이하 고품질재생시멘트)

2.2 실험인자 및 수준

본 연구의 실험인자 및 수준은 표 2와 같다. 모재모르터 및 재생모르터의 압축강도는 재령 7일, 재령 28일로 하고 수중 양생한 시험체의 강도를 측정하였다.

표 2. 실험인자 및 수준

실험인자	수준	수준수	기호
W/C(%)	모재모르터 : 60	1	O
	보통재생시멘트 : 40, 50, 60	3	NR-C
	고품질재생시멘트 : 40, 50, 60	3	HR-C
분급방법	보통재생시멘트 : 0.15mm체	1	
	고품질재생시멘트 : 0.15mm체 +정밀분급 (직경 : 1-45 μ m)	1	

2.3 재생시멘트의 제조과정

그림 1은 보통재생시멘트와 고품질재생시멘트의 제조과정을 나타낸 것이다. 보통재생시멘트는 보편적으로 재생시멘트를 만드는 제조과정³⁾으로 제조하였으며, 고품질재생시멘트는 체가름 시험에 의한 분급 후 마이크론 세퍼레이터(정밀분급기)로 2차 정밀 분급을 추가하여 제조하고자 하였다.

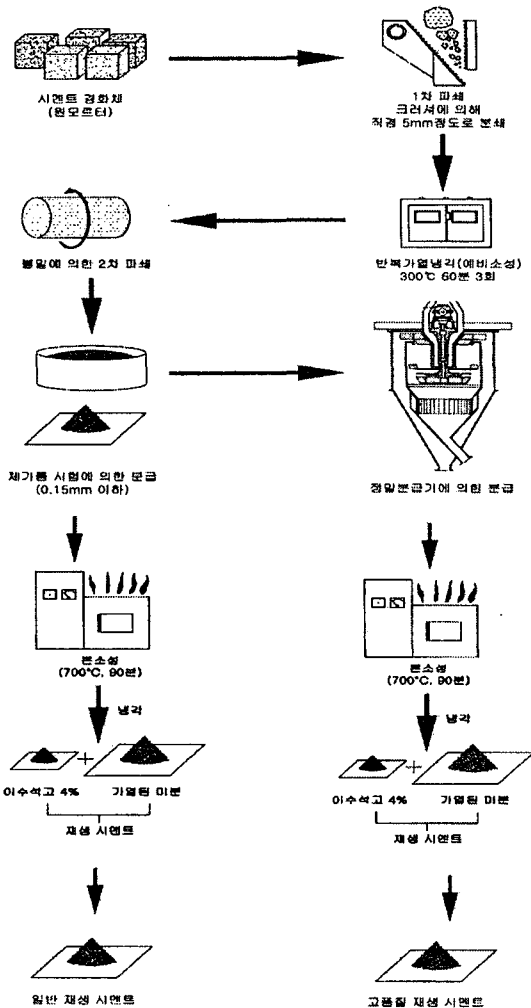


그림 1. 보통재생시멘트와 고품질재생시멘트의 제조과정

2.4 모르터의 배합

고품질재생모르터를 만들기 위한 배합은 표 3과 같다. 모재 모르터의 경우는 물시멘트비를 60%로 하였으며, 잔골재량(S/M)은 55%로 하였다. 보통재생시멘트 및 고품질재생시멘트의 압축강도 회복정도로 고찰하기 위하여 물시멘트비를 40%, 50%, 60% 3단계로 하였으며, 재생시멘트 경우 유동성이 저하되는 것을 고려하여, 잔골재량(S/M)은 35%로 하였다.

표 3. 모르터의 배합

Sample	Symbol	W/C (%)	S/M (%)	Unit weight(g/l)		
				W	C	S
모재 모르터	OM	60	55	294	491	1480
보통 재생 모르터	40NR-M	40	35	343	859	942
	50NR-M	50		379	758	942
	60NR-M	60		407	679	942
고품질 재생 모르터	40HR-M	40		333	833	942
	50HR-M	50		369	738	942
	60HR-M	60		398	663	942

2.5 시험방법 및 측정방법

2.5.1 모르터의 비빔방법

모르터의 비빔방법은 KS L 5109 수경성 시멘트페이스트 및 모르터의 기계적 혼합방법에 준하여 실시하였다.

2.5.2 공시체 제작방법

큐빅 공시체 5×5×5cm 크기의 정육면체 몰드를 사용하여 제작하였으며 제작된 공시체는 72시간 후에 탈형하여 항온수조에서 소요 재령까지 양생하였다.

2.5.3 압축강도

압축강도는 KS L 5105 수경성 시멘트 모르터의 압축강도 시험방법에 준하여 5×5×5cm의 공시체로 재령 7일, 재령 28일에서 시험하였다.

2.5.4 X선 회절 분석

페론크리트 미분말 재생시멘트에 원자가 어떤 규칙에 따라 배열한 집합체 즉 물질에 X선을 입사시키면 각각의 원자로부터의 산란파가 서로 간섭 현상을 일으켜 특정한 방향으로만 회절파(X선 회절)가 진행된다. 이것이 X선 회절 현상이다. X선 회절의 강도와 진행 방향은 물질을 구성하는 원자의 종류와 배열상태에 따라 달라지는데, 그러한 특성을 이용하여 X선 회절을 조사함으로써 물질의 미세한 구조를 알 수 있다.

$$2d_{hkl} \sin\theta_{hkl} = n\lambda$$

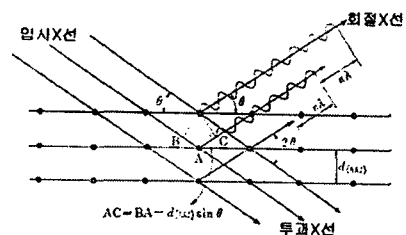


그림 2. 평행결정면에 따른 X선의 회절

2.5.5 주사현미경(SEM)

공시체의 일부분의 시료를 채취한 후, 주사전자현미경의 전자선을 이용하여 3~10nm의 직경까지 미세하게 시료표면을 조사한다. X와Y의 2차원 방향으로 설정된 면적을 주사시켜 시료로부터 발생한 신호를 각각의 신호로 변환시킨 후 검출기에서 검출하여 증폭시켜 구성원소의 분포나 정량 등의 분석을 알아 보았다.

3. 실험결과와 분석 및 고찰

3.1 재생시멘트의 X선 회절분석

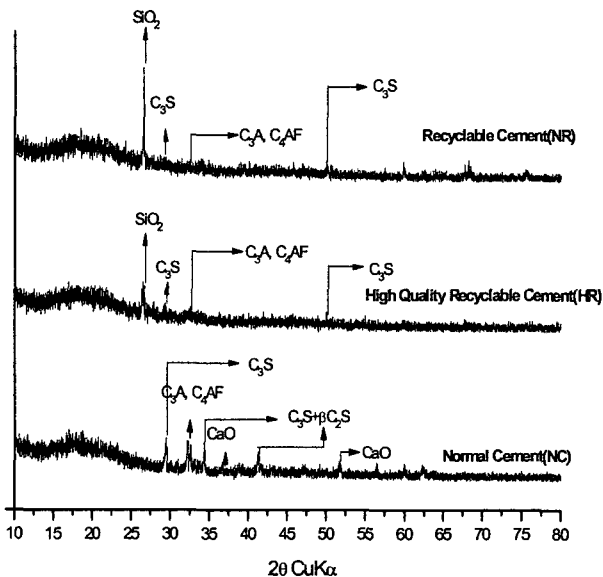


그림 3. 시멘트의 X선 회절분석

그림 3은 보통포틀랜드시멘트와 보통재생시멘트, 고품질재생시멘트 세 가지 시료에 대한 X선 회절분석 결과를 나타낸 것이다. 보통포틀랜드시멘트에 있어서 수화반응 이전에 볼 수 있는 CaO Peak은 37.1°, 강도발현을 하는 알라이트(이하 C₃S) Peak은 29.3°, 벨라이트(이하 β-C₂S) Peak은 다수의 C₃S의 Peak와 겹쳐있기 때문에 31.0°의 Peak을 가지며, 알루미늄이 트상(이하 C₃A)과 페라이트상(이하 C₄AF)은 각각 33.2°와 33.7°의 성상에 나타나고 있다. 보통포틀랜드시멘트의 경우에는 주요 화합물의 Peak은 그림과 같이 눈에 띄게 나타났으나, 보통재생시멘트와 고품질재생시멘트의 경우에는 Peak이 불안정한 것을 볼 수 있다. 보통재생시멘트와 고품질재생시멘트의 경우 재생 전 보통포틀랜드시멘트에는 잘 나타나있지 않은 SiO₂ Peak을 볼 수 있는데, 이것은 잔골재의 미분말이 포함되어 Peak이 높아지는 것으로 판단되며, Peak의 높이로 보아 분포정도가 높은 것을 알 수 있다. 고품질재생시멘트의 경우에는 보통재생시멘트보다 SiO₂ 함유량이 현저히 낮아 골재의 미분이 약 40~50% 정도 감소하여 정밀분급의 효과가 나타났으며, 불안정하지만 초기 강도 발현에 기여하는 C₃S가 보통재생시멘트보다 폭이 넓고 높아, 강도회복이 보통재생시멘트보다 좋아질 것으로 생각되어진다. 하지만 장기강도를 예측하는 C₃S+β-C₂S의

Peak이 낮아 장기강도의 회복률은 낮아질 것으로 예측되며, 따라서 초기 반응이 빨라지고 장기 압축강도는 물시멘트비에 따라 다르지만 강도 회복률이 낮아질 것으로 사료된다.

3.2 재령에 따른 모르터의 압축강도

그림 4는 모재모르터와 보통재생모르터 및 고품질재생모르터의 재령별 압축강도를 비교한 것이다. 재령 7일과 재령 28일에 있어서의 압축강도는 물시멘트비 40%, 50%, 60%의 경우 보통재생모르터보다 고품질재생모르터가 높게 나타났다. 이것은 보통재생시멘트속에 포함되어 있는 골재 미분의 분리가 효과적으로 이루어져 단위시멘트량이 증가하여, 동일조건에서도 실제 물시멘트비가 낮기 때문으로 판단된다. 또한 고품질재생시멘트를 사용한 모르터의 강도특성은 재생시멘트를 사용한 콘크리트 배합에 있어 강도설계에 기초적인 자료가 될 것으로 사료된다.

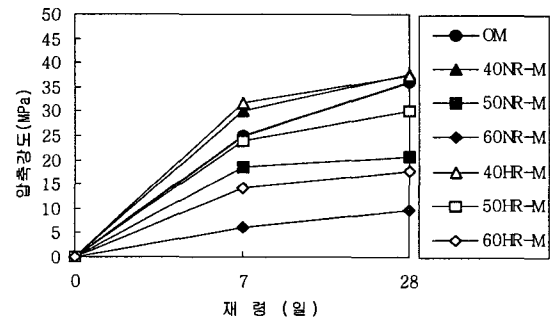


그림 4. 재령에 따른 압축강도

그림 5와 그림 6은 모재모르터(물시멘트비60%)의 압축강도를 기준으로 하여, 보통재생모르터 및 고품질재생모르터의 압축강도를 재령 7일과 재령 28일로 비교한 그래프이다. 재령 7일의 압축강도가 모재모르터의 압축강도와 같아지는 물시멘트비는 보통재생모르터일 경우 44%, 고품질재생모르터일 경우 48%로 보통재생시멘트에 비해 고품질재생시멘트가 높은 물시멘트비에서도 강도가 높아 미세분급이 강도개선에 기여하는 것으로 판단된다. 한편 고품질재생시멘트의 보통재생시멘트에 대한 상대압축강도비는 물시멘트비 40%의 경우에는 거의 동일하게 나타났으며, 50%의 경우에는 22%, 60%일 경우에는 43% 정도로 높게 나타났다. 이는 정밀분급에 의한 효과라고 판단되며, 그 효과는 물시멘트비가 클수록 증가하는 경향을 보였다. 재령 28일의 경우 모재모르터의 압축강도와 같아지는 재생시멘트의 물시멘트비는 보통재생모르터의 경우 41%, 고품질모르터는 42%로 나타났다. 모재모르터의 압축강도에 대해 보통재생모르터 및 고품질재생모르터의 압축강도가 현저히 낮은 것으로 보아 장기강도에 영향을 미치는 조성광물 C₃S와 β-C₂S 양이 적은 것으로 판단되어지며, 이것은 X선 회절분석결과와 예측하였던 것과 일치한다. 재령 28일에 있어서 보통재생시멘트의 고품질재생시멘트에 대한 상대압축강도비도 재령 7일에서와 같은 경향을 보였으며, 물시멘트비가 클수록 현저하였다. 한편 보통적으로 현장타설에 사용하는 콘크리트의 압축강도는 24~28MPa 정도이므로 고품질시멘트일 경우 약 51%, 보통재생시멘트의 경우 약 44%의 물시멘트비에서 소요강도를 얻을 수

있을 것으로 판단된다.

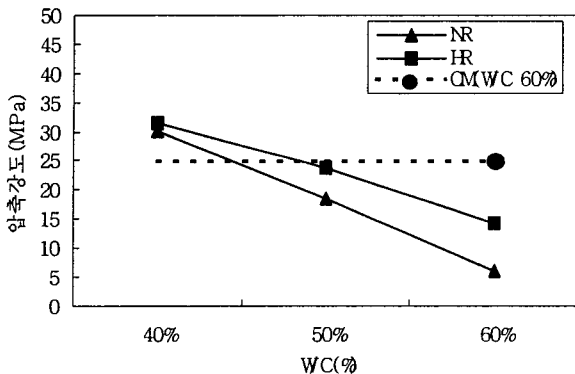


그림 5. 물시멘트비에 따른 재령 7일 압축강도

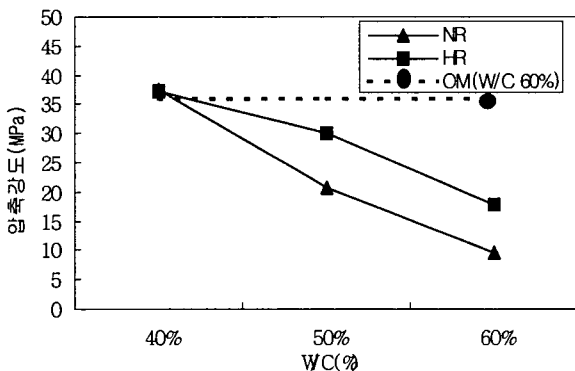


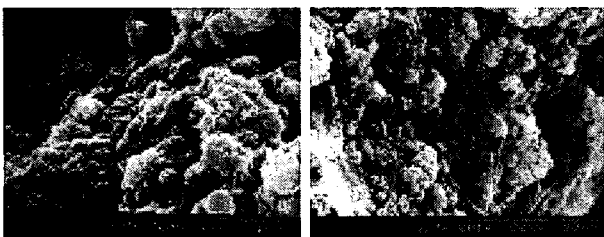
그림 6. 물시멘트비에 따른 재령 28일 압축강도

3.3 재생시멘트의 주사현미경(SAM)분석

그림 7은 재령 28일의 물시멘트비 60%의 경화한 모래모르터, 보통재생모르터, 고품질재생모르터의 파쇄된 표면을 주사현미경을 통해 5000배율로 촬영한 것이다. 모래모르터의 경우에는 재생모르터 보다 이미 경화가 상당히 진행되어 규산칼슘수화물(C-S-H)과 수산화칼슘(Ca(OH)₂)이 다량 생성되어 치밀한 구조를 이루고 있음을 알 수 있다.



a) OM



b) NR60-M

c) HR60-M

그림 7. 모르터 주사현미경 사진(×5000)

4. 결 론

본 연구는 분급방법의 개선을 통해 고품질재생모르터를 제조하고 재생콘크리트 배합설계와 실용화를 목적으로 기존의 제조방법과 비교분석한 결과 다음과 같은 결론을 도출해 낼 수 있었다.

- 1) 보통포틀랜드시멘트와 보통재생시멘트, 고품질재생시멘트에 대한 X선 회절분석을 비교한 결과 보통포틀랜드시멘트보다 보통재생시멘트와 고품질재생시멘트는 주요화합물의 peak가 불안정한 것을 볼 수 있다. 또한 보통재생시멘트에 비해 고품질재생시멘트에서는 잔골재 미분말 성분이 SiO₂의 Peak가 50% 이하로 감소하는 것을 볼 때 정밀분급기의 분급효과가 나타났음을 알 수 있었다.
- 2) 재령 7일, 재령 28일 압축강도가 보통재생모르터에 비해 고품질재생모르터가 높게 나타났으며, 재령에 상관없이 고품질재생모르터의 보통재생모르터에 대한 상대압축강도비는 물시멘트비가 높을수록 높게 나타났다. 또한 국내 건설 현장에서 사용하고 있는 압축강도 24~28MPa정도이므로, 고품질재생시멘트는 물시멘트비 약 51%, 보통재생시멘트는 약 44%에서 소요 압축강도의 얻을 수 있었다.
- 3) 주사현미경분석 결과 동일 물시멘트비에서 고품질재생모르터경화체가 보통재생모르터보다 치밀한 구조를 보였다.
- 4) 마이크론 세퍼레이터에 의한 새로운 분급을 통한 재생시멘트의 제조과정을 개선함으로써 재생콘크리트의 성능을 향상 시킬 수 있었다.

폐콘크리트의 보다 합리적이고 실용적인 재활용을 위하여 금후 재생시멘트의 고품질화를 위한 보다 다양한 연구가 필요한 것으로 사료된다.

참 고 문 헌

1. 김병운 외 1명, 재생골재 콘크리트의 건조수축 및 크리프에 관한 실험적 연구, 대한건축학회논문집, 21권2호, 2005. 2
2. 오상균 외 1명, 폐콘크리트 미분말을 이용한 재생시멘트의 물성과 성능개선, 대한건축학회논문집 구조계, 18권 12호, 2002. 12
3. 오상균의 1명, 폐시멘트모르터를 이용한 재생시멘트의 품질개선, 大韓建築學會論文集 20권1호(통권183호)2004년 1월
4. 한국콘크리트학회, 콘크리트 공학, 기문당
5. 임승준, 재생시멘트의 성능개선을 위한 실험적 고찰, 석사학위 논문, 2004. 2
6. 김세훈, 폐콘크리트 미분말을 이용한 재생시멘트의 실용화 방법, 석사학위 논문, 2005. 2
10. 안재철 외 2명, 폐콘크리트계 미분말의 소성조건에 따른 재생시멘트의 물성, 대한건축학회 논문집, 19권 11호, 2003. 11