

# 재생미분말의 가열온도에 따른 기초물성 및 시멘트혼화재 적용성에 관한 연구

## A Study on the Fundamental Properties and Application as Cementious Admixture by Heating Temperature of Recycled Powder

장 종 호*	김 용 로*	최 세 진*
Jang, Jong Ho	Kim, Yong Ro	Choi, Se Jin
최 희 용**	김 문 한***	김 무 한****
Choi, Hee Yong	Kim, Moon Han	Kim, Moo Han

### ABSTRACT

Recently, it has been processed to study about recycled aggregate but a study about using of recycled powder is produced when manufacturing recycled aggregate has not been acted.

So in this study on the fundamental properties and application as cementious admixture by heating temperature for mortar properties of recycled powder and sand is obtained like following results.

It is judged that application of recycled powder of heat treatment on 600℃ and cement replacement ratio below 10% is available.

### 1. 서 론

지구 환경보전과 자원의 유효이용의 관점에서 폐기물의 처리 및 건설재료의 리사이클이 중요한 문제점으로 대두되고 있다<sup>1)</sup>. 현재 폐콘크리트로부터 제조되는 재생골재에 대해서는 많은 연구가 이루어지고 있지만, 그 실제 사용에 있어서는 콘크리트용 골재가 아닌 건설 및 토목공사의 성토재 또는 기층재 등으로 사용되고 있을 뿐이다. 더욱이 재생골재 생산시 발생하는 재생미분말에 대한 연구 및 그 사용은 전무한 상태이다<sup>2)</sup>.

따라서, 본 연구에서는 가열을 행한 미분말에서 활성이 증가하고 재수화성이 향상된다는 기존 연구보고<sup>3)</sup>를 바탕으로 폐콘크리트의 리사이클에 있어서 발생하는 폐콘크리트 미분말을 재이용하기 위한 연구로서 3수준(시멘트에 대한 잔골재의 비=1:1, 1:2, 1:3)의 모르터를 제작하여 만든 재생미분말의 가열온도에 따른 기초물성을 검토한 후, 혼화재로서의 적용성을 검토하였다.

\* 정회원, 충남대학교 대학원 건축공학과

\*\* 정회원, 충남대학교 박사수료, (주) 지플러스 생태건축연구소 선임연구원

\*\*\* 정회원, (주) 지플러스 회장, 서울대학교 명예교수

\*\*\*\* 정회원, 충남대학교 건축공학과, 교수·공박

## 2. 재생미분말의 기초물성 검토

### 2.1 재생미분말의 제조

재생미분말의 제조는 그림 1과 같이 보통포틀랜드시멘트로 3수준(시멘트에 대한 잔골재의 비=1:1, 1:2, 1:3)의 모르터를 제작하여 91일 수중양생을 실시한 후, 조크러셔로 1차 분쇄를 하였으며, 진동밀로 3분씩 2차 분쇄하였다. 또한 체가름(No.100)하여 통과한 미분말을 300, 600, 1000℃로 전기로에서 가열하여 2시간 유지시킨 후 공기중에서 급냉시켜 재생미분말을 제조하였다.

### 2.2 재생미분말의 기초물성 검토

표 1 및 그림 2는 재생미분말의 물리적 성질을 나타낸 것으로 비중은 시멘트에 대한 잔골재의 비가 작을수록, 가열온도가 높을수록 크게 나타나고 있으며, 분말도는 시멘트에 대한 잔골재의 비가 작을수록 크게 나타나고 있다. 이는 시멘트에 대한 잔골재비가 작을수록 비중이 높은 시멘트페이스트의 미분이 많이 발생하기 때문으로 사료된다. 특히 가열온도 1000℃의 경우 시멘트 비중과 동등내지는 그 이상의 높은 비중을 보이고 있는데, 이는 재생미분말이 1000℃의 고열에 입자들끼리의 용융에 의한 고상반응<sup>4)</sup>의 결과로 판단된다.

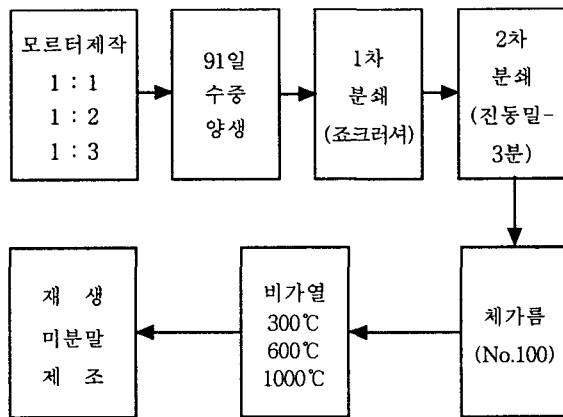


그림 1. 재생미분말 제조 방법

표 1. 재생미분말의 물리적 성질

C : S	비중				분말도 (cm <sup>2</sup> /g)
	비가열	300℃	600℃	1000℃	
1 : 1	2.44	2.70	2.86	3.57	1330
1 : 2	2.13	2.50	2.78	3.33	1250
1 : 3	2.08	2.38	2.70	3.13	1187

표 2. 용해분과 불용잔분

C : S	용해분 (%)	불용잔분 (%)
1 : 1	76.2	23.8
1 : 2	65.5	34.5
1 : 3	61.0	39.0

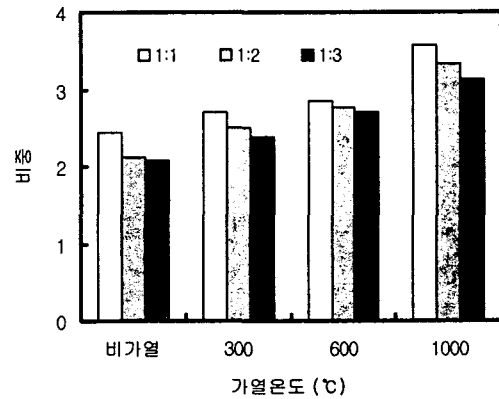


그림 2. 재생미분말의 비중의 변화

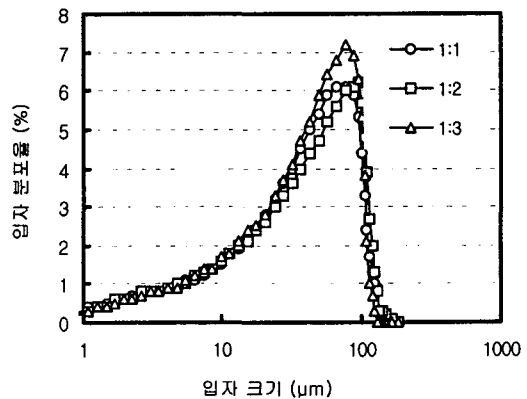


그림 3. 재생미분말의 입도분포 (비가열)

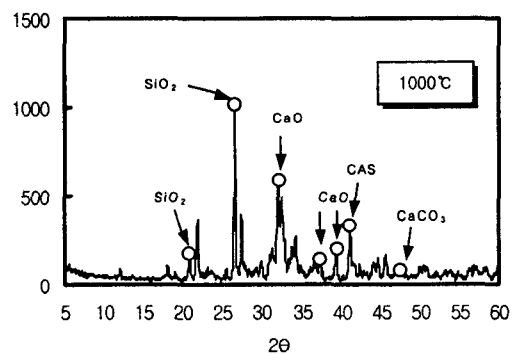
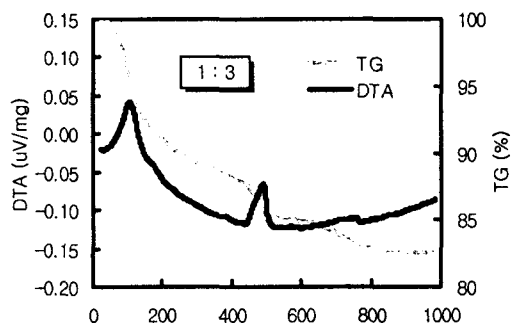
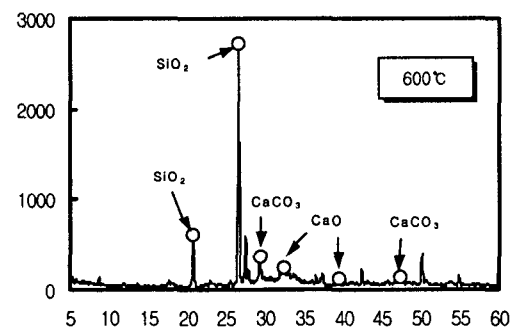
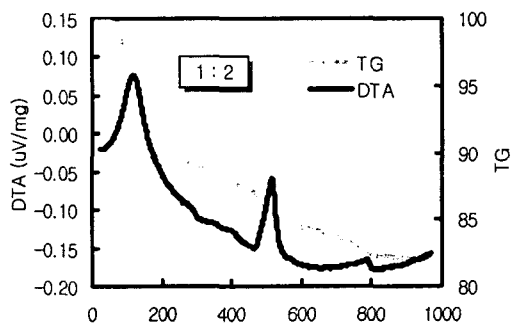
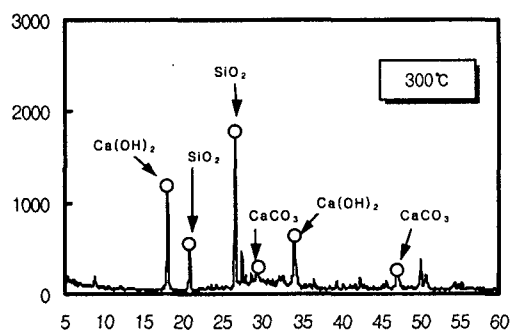
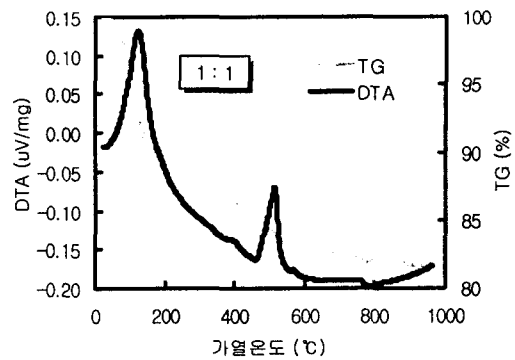
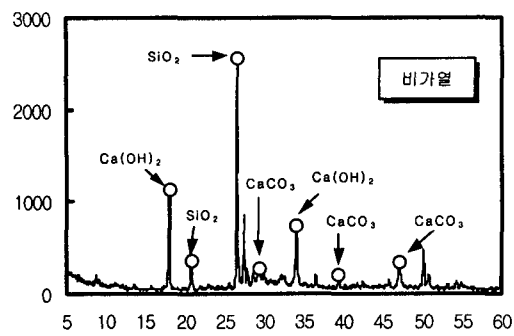


그림 5. 재생미분말의 TG-DTA 분석 (비가열)

그림 4. 재생미분말의 XRD 분석 (1:1)

표 2는 각각의 재생미분말을 10%의 염산 수용액에 2시간 용해시킬 때의 용해분과 불용잔분을 나타낸 것으로 시멘트에 대한 잔골재의 비가 작을수록 용해분이 높게 나타나고 있다. 이는 시멘트에 대한 잔골재 비가 작을수록 시멘트페이스트의 미분이 상대적으로 많이 존재하여 염산에 용해되는 시멘트 수화물인자가 많기 때문인 것으로 판단된다.

그림 3은 각각의 재생미분말의 입도분포 곡선을 나타낸 것으로 시멘트에 대한 잔골재의 비에 관계 없이 유사하게 50~100 $\mu$ m사이에 많이 분포하고 있다.

### 2.3 재생미분말의 미시적 분석

#### 2.3.1 XRD분석

그림 4는 시멘트에 대한 잔골재의 비가 1:1인 재생미분말의 가열온도별 XRD분석을 나타낸 것으로 비가열의 시료는 잔골재의 SiO<sub>2</sub> 및 시멘트 수화반응 및 탄산화에 의한 Ca(OH)<sub>2</sub>, CaCO<sub>3</sub>가 다량 존재하고 있으며, 가열온도 300 $^{\circ}$ C 시료에서도 비가열의 시료와 동일한 XRD 분포를 나타내고 있다. 그러나, 가열온도 600 $^{\circ}$ C의 시료는 Ca(OH)<sub>2</sub>의 탈수에 의한 CaO의 생성이 약간 나타나고 있으며, CaCO<sub>3</sub>의 결정은 그대로 존재하고 있다. 또한 가열온도 1000 $^{\circ}$ C의 시료는 Ca(OH)<sub>2</sub>의 탈수뿐만 아니라 CaCO<sub>3</sub>의 탈탄산화에 의한 CaO의 생성이 다량 나타나고 있으며 고온의 용융으로 고상반응에 의한 CAS상(Gehelite)<sup>4)</sup>의 생성도 보이는 것으로 나타났다.

#### 2.3.2 TG-DTA (시차열분석)

그림 5는 각각의 재생미분말의 TG-DTA의 결과를 나타낸 것으로 DTA의 경우 시멘트에 대한 잔골재비에 관계없이 100 $^{\circ}$ C, 500 $^{\circ}$ C, 800 $^{\circ}$ C부근에서 급격한 흡열피크를 보이고 있다. 이는 100~200 $^{\circ}$ C부근에서의 모노셀레이트 탈수, 500 $^{\circ}$ C부근에서의 Ca(OH)<sub>2</sub>의 탈수, 800 $^{\circ}$ C부근에서의 CaCO<sub>3</sub>의 탈탄산화 등에 의한 결과로 사료되며, 이때의 TG 기울기는 급격하게 나타났다.

### 3. 재생미분말의 가열온도에 따른 혼화재 적용성 모르터 실험

#### 3.1 실험요인 및 수준

본 연구의 실험요인 및 수준은 표 3에서 보는 바와 같이 결합재:잔골재의 비가 1:2인 모르터 배합에서 가열온도에 따른 재생미분말의 혼화재 적용성을 검토하기 위하여 각각의 재생미분말에 대하여 가열온도를 비가열, 300, 600, 1000 $^{\circ}$ C의 4수준에서 재생미분말 대체율을 0, 5, 10, 20%로 설정하였다.

표 3. 실험요인 및 수준

W/B (%)	B : S	재 생 미분말 종류*	가 열 온도 ( $^{\circ}$ C)	재 생 미분말 대체율 (%)	측 정 항 목
50	1 : 2	1 : 1 1 : 2 1 : 3	비가열 300 600 1000	0	· 플로우 (mm) · 압축강도 (kgf/cm <sup>2</sup> )
				5	
				10	
				20	

\* 재생미분말의 시멘트에 대한 잔골재의 비

표 4. 사용재료의 물리적 성질

시멘트	1종 보통포틀랜드시멘트 비중 : 3.15, 분말도 : 3,680cm <sup>2</sup> /g
잔골재	비중 : 2.56, 조립율 : 3.04 흡수율 0.64%, 제염사
재생미분말	표 1 및 표 2 참조

#### 3.2 사용재료 및 비빔방법

본 연구에서 사용재료의 물리적 성질은 표 4와 같으며 모르터 비빔은 KS L 5109의 모르터 믹서를 사용하였으며, 시멘트는 비중 3.15인 1종 보통포틀랜드시멘트를 사용하였다. 또한, 잔골재

는 비중 2.56인 제염사를 사용하여 하였다.

### 3.3 실험결과 및 고찰

#### 3.3.1 플로우의 변화

그림 6은 재생미분말의 대체율 및 가열온도에 따른 플로우의 변화를 나타낸 것으로 대체율이 증가할수록 플로우는 저하하는 것으로 나타났으며 특히, 600℃, 1000℃에서 플로우의 저하가 급격하게 나타났다. 이는 600℃의 가열시료는 Ca(OH)<sub>2</sub>의 탈수, 1000℃의 가열시료는 Ca(OH)<sub>2</sub>의 탈수 및 CaCO<sub>3</sub>의 탈탄산화에 의한 CaO의 생성으로 물과의 급격한 소화반응에 의한 수량의 소모에 기인한 것으로 사료된다.

#### 3.3.2 압축강도의 변화

그림 7은 시멘트에 대한 잔골재비가 1:1에서 각 재령별 대체율 및 가열온도에 따른 압축강도의 변화를 나타낸 것으로 가열온도 600℃에서 가장 높은 압축강도를 발현하고 있으며, 특히 가열온도 600℃, 재생미분말 대체율 10%에서 재생미분말을 사용하지 않은 모르터보다 높은 압축강도를 나타내고 있다.

그림 8은 가열온도에 따른 재령 28일 압축강도를 나타낸 것으로 시멘트에 대한 잔골재비가 작을수록 압축강도는 높게 나타나고 있다. 또한 시멘트에 대한 잔골재비에

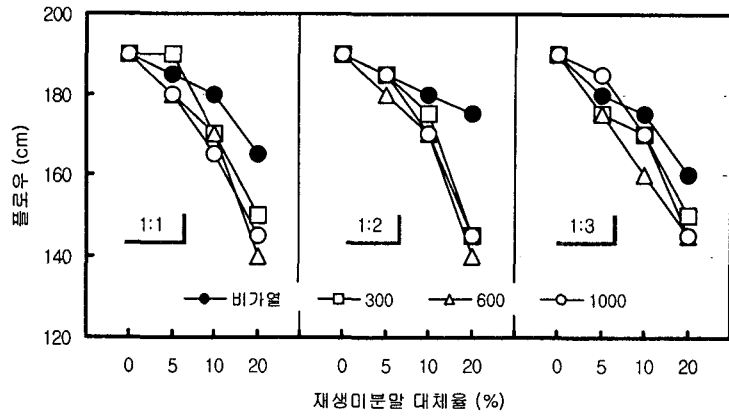


그림 6. 대체율 및 가열온도에 따른 플로우의 변화

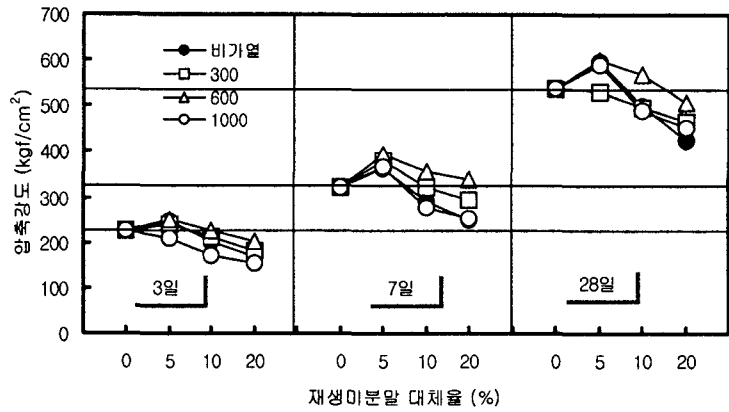


그림 7. 각 재령별 대체율 및 가열온도에 따른 압축강도의 변화 (1:1)

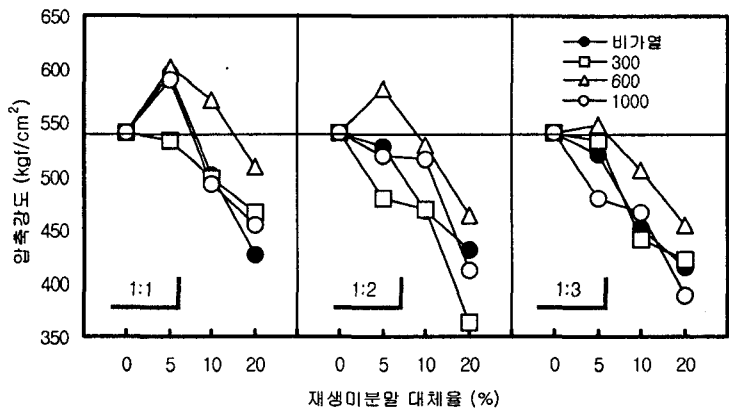


그림 8. 가열온도에 따른 재령 28일 압축강도의 변화

관계없이 가열온도 600℃, 재생미분말 대체율 5%에서 가장 높은 압축강도를 발현하고 있으나, 재생미분말 대체율 10%에서도 강도저하가 비교적 작게 나타나고 있다. 이는 기존의 연구보고<sup>3)</sup>와 유사한 결과로 재생미분말을 시멘트 혼화재료로 유효하게 이용하기 위해서는 600℃에서 열처리하고 대체율 10%이하에서 사용하는 것이 바람직할 것으로 사료된다.

#### 4. 결론

재생미분말의 가열온도에 따른 기초물성 및 시멘트혼화재 적용성에 관한 연구를 검토한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 비가열 및 가열온도 300℃의 시료는 잔골재의 SiO<sub>2</sub> 및 시멘트 수화반응 및 탄산화에 의한 Ca(OH)<sub>2</sub>, CaCO<sub>3</sub>가 다량 존재하고 있으며, 가열온도 600℃의 시료는 Ca(OH)<sub>2</sub>의 탈수에 의한 CaO의 생성이 약간 나타나고 있으며, CaCO<sub>3</sub>의 결정은 그대로 존재하고 있다. 또한 가열온도 1000℃의 시료는 Ca(OH)<sub>2</sub>의 탈수뿐만 아니라 CaCO<sub>3</sub>의 탈탄산화에 의한 CaO의 생성이 다량 나타나고 있다.
- 2) DTA의 경우 시멘트에 대한 잔골재비에 관계없이 100℃, 500℃, 800℃부근에서 급격한 흡열피크를 보이고 있다. 이는 100~200℃부근에서의 모노셀페이트 탈수, 500℃부근에서의 Ca(OH)<sub>2</sub>의 탈수, 800℃부근에서의 CaCO<sub>3</sub>의 탈탄산화 등에 의한 결과로 사료되며 이때의 TG 기울기는 급격한 것으로 나타났다.
- 3) 플로우는 대체율이 증가할수록 저하하는 것으로 나타났으며 특히, 600℃, 1000℃에서 급격하게 저하하는 것으로 나타났다. 이는 Ca(OH)<sub>2</sub>의 탈수 및 CaCO<sub>3</sub>의 탈탄산화에 의한 CaO의 생성으로 물과의 급격한 소화반응에 의한 단위수량의 소실에 기인한 것으로 사료된다.
- 4) 시멘트에 대한 잔골재비가 작을수록 압축강도는 높게 나타나고 있으며, 가열온도 600℃, 재생미분말 대체율 10%에서도 재생미분말을 사용하지 않은 모르타와 비교하여 강도저하가 비교적 작게 나타나고 있어 재생미분말을 시멘트 혼화재료로 유효하게 이용하기 위해서는 600℃에서 열처리하고 대체율 10%이하에서 사용하는 것이 바람직할 것으로 사료된다.

#### 참고문헌

1. 長瀧重義 外, 再生微粉末を混和したセメント・モルタルの性質, 日本コンクリート工学年次論文集, Vol.22, No.2, 2000, pp1117~1122
2. (社)セメント協会建設副産物利用促進専門委員会, 콘크리트塊から発生する微粉末の有効利用, セメント・コンクリート, No.621, Nov.1996, pp52~59
3. 湯浅昇 外, 再生骨材製造時に発生するコンクリート微粉末の有効利用に関する研究, 第5回韓国・日本建築材料・施工 Joint Symposium 論文集, 2000, pp.51~56
4. 鈴木孝 外, 콘크리트의組織構造의診斷, pp15~16
5. 長瀧重義 外, 再生微粉末の水和性と吸着特性, 日本コンクリート工学年次論文集, Vol.21, No.1, 1999, pp193~198
6. 星野稔 外, 再生骨材微分を混和した高流動コンクリートの諸性質, 日本建築学会大会學術講演梗概集, 1999.9, pp163~164