

폐콘크리트 미분말을 이용한 재생 시멘트 개발에 관한 기초적 연구

A Study on the Development of Recycling Cement Using the Waste Concrete Powder

조민철* 박태성* 추유선* 황혜주**
Cho, Min Chol Park, Tae Sung Chu, Yu Sun Hwang, Hey Zoo

ABSTRACT

The purpose of this study is to develop of recycling cement using the waste concrete powder. For presentation possible of practical use as cement powder, we activated waste-powder at temperatures between 600 and 1000°C. And we made recycling cement hardening as being added Ca(OH)₂ and the others in recycling cement.

The result of this study are as follow;

- 1)According to compressive strength result, it is found setting and hardened.
 - 2)Active waste powder is positive to the pozzolan reaction and is enable to be used as cement.
-

1. 서론

최근 발생하는 폐콘크리트는 투기,매립 되거나 자원 절감과 환경 부하 저감 등의 목적으로 일부 재활용되어 다시 사용되고 있다. 재활용되는 폐콘크리트의 대부분은 재생골재로 이용되어 일반 골재를 대체하여 골재 자원 부족과 골재 채취에 의한 환경 파괴 문제를 해소시키고 있다. 그러나 해체 콘크리트에서 고품질의 재생골재를 제조하는 경우 발생하는 콘크리트의 약 30%정도 되는 콘크리트 미분말은¹⁾ 유효 이용을 위하여 콘크리트 혼화재로서 가능성이 연구되어지고 있지만 미분말의 재생 시멘트로의 이용에 관한 연구는 미진한 상태이다. 일부에서는 경화한 원콘크리트를 전량 분쇄한 후 필요한 성분 조정을 행하여 시멘트 원료로 사용하여 전기로 소성, 석고 첨가 및 분쇄 공정을 거쳐 재생 시멘트를 제조하였다는 보고²⁾도 있다. 그러나 이와같은 방법은 성분 조정등의 제조과정이 복잡하고 높은 소성 온도로 에너지가 절감되지 않아 폐미분말의 재생시멘트로의 적극적인 활용을 기대하기 어렵다.

따라서 본 연구에서는 기존 시멘트의 단점이던 고온소성의 문제를 해결하기 위한 것으로서 별도의 성분 조정 없이 폐콘크리트 미분말의 재생 시멘트로서 활용할 수 있는 가능성을 제시하기 위하여 1:1 시멘트 모르터를 제작한 후 이를 분쇄하여 콘크리트 미분말의 재생 시멘트로의 활용 가능성을 검토하였다.

* 정회원, 목포대학교 대학원 건축공학과 석사과정

** 정회원, 목포대학교 건축공학과 조교수, 공학박사

2. 이론적 고찰

시멘트는 원료에서 사용 되기까지 많은 변화를 겪게 된다. 우선 채취된 원료는 시멘트로 제조되기 위해 소성공정을 거치면서 불과 한번 반응을 하여 그 성질이 바뀌게 되고 다음으로 사용에 있어서는 물과 반응을 하여 또 한번 그 성질이 바뀌게 된다. 특히, 시멘트의 수화는 시멘트 내에 존재하는 소위 시멘트 화합물의 수화가 주체를 이루는데, 이 화합물들의 수화기구나 속도에 대해서는 아직 명확하지 않은 점이 많다. 이렇듯 사용에 이르면서 그 성질이 완전히 바뀌어 버리는 시멘트는 재사용하는데는 많은 어려움이 있다. 더욱이 폐미분에는 콘크리트의 재료인 모래와 기타 불순물들이 많이 섞여 있기 때문에 이를 기존의 시멘트 제조방법과 같이 동일한 조건 하에 놓이게 한 후 시멘트를 제조한다는 게 쉬운 일이 아니며 또한 기존의 방식은 에너지 낭비, 복잡한 제조 과정으로 인해 경제적 측면 및 환경 친화적인 측면에서도 불리하다. 폐미분의 유효 이용을 도모하기 위해서는 새로운 제조법이 제시 되어야 한다. 그래서 여기서는 광물의 활성화 이론을 이용하여 재생 시멘트 제조법을 제시하였고 그 내용은 다음과 같다. 어떠한 물질에 에너지를 가한 후 급랭시키면 그 물질은 높은 결정화 에너지를 내부에 보존하여 언제든지 외부의 자극으로 인하여 화학결합을 할 가능성을 가진 유리상태가 되는 것을 광물의 활성화라고 한다. 이런 광물의 활성화 이론을 근거로 폐미분을 소성 후 급랭시켜 결정화 에너지를 내부에 보존, 유리상태가 되게 하여 잠재수경성을 가지게 한다. 즉, 폐미분은 이러한 처리에 의해 활성화 폐미분을 만들면 높은 에너지 상태로 되어 반응성은 커지나 그 분말을 그대로 물과 접촉시켜도 수화반응은 거의 진행되지 않는다. 그러나 알칼리 조건 하에 놓이게 되면 수경성을 보이게 된다.³⁾

3. 실험

3.1 실험계획

본 연구의 실험계획은 그림1과 같다. 우선, 폐미분을 적정 온도로 소성하여 활성화상태를 지니게 하고 결정화 에너지를 내부에 극대화시켜 잠재수경성을 지니는 폐미분을 제조하여 그 기초 특성을 검토한 후, 활성화 상태의 폐미분의 수화반응을 유도하기 위해 알칼리성 부원료를 채택, 알칼리 조건 하에 놓이게 하여 폐미분의 포졸란 반응을 유도하게 하는 재생 시멘트 제조법을 제시하였다. 그리고 이렇게 제조된 재생 시멘트의 포졸란 반응을 검토하기 위해 재생 시멘트를 물과 혼합하여 재생 시멘트 경화체를 제작하여 그 기초 특성을 살피고 적정 재생시멘트 제조방법을 제시하였다.

3.2 실험방법

폐미분 활성화를 위해 전기로를 이용하여 소성하였으며, 부원료를 첨가하여 재생 시멘트를 제조하였다. 활성화 폐미분의 기초특성 검토를

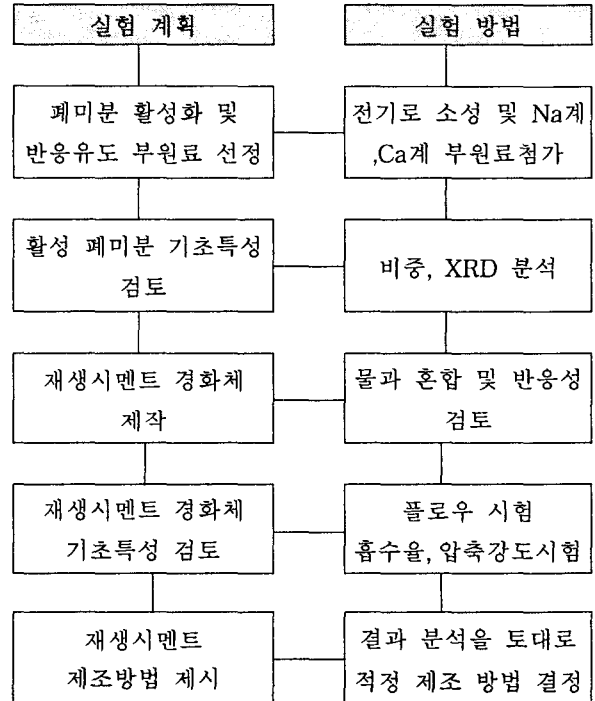


그림 1 실험 계획 및 방법

위해 비중 실험과 XRD분석을 행하였다. XRD시험은 Mo-ka radiation을 사용하여 scanning속도를 3°/min scanning 각도(2θ)를 5° 에서 50° 까지 조사하였다. 제조된 재생시멘트는 물과 혼합하여 플로우 시험은 KS L 5105에 의거하여 흡수율 시험은은 KS F 2451에 의거하여, 압축강도 시험은 KS L 5105에 의거하여 실시하였다.

3.3 사용재료

원료는 적정 온도 하에서 활성화된 폐미분을 사용하였으며, 부원료로 Ca(OH)₂는 B사의 KSL공업용 2급 소석회를 사용했으며 NaOH, NaCl, CaCl₂는 실험용 시약을 사용하였다.

3.4 재생 시멘트 제조

재생 시멘트의 제조는 광물활성화 이론에 근거하여 페콘크리트로부터 발생하는 폐미분을 특별한 조정없이 적정온도로 소성하여 활성 폐미분을 만들고 활성 폐미분의 잠재수경성을 진행시키기 위해 적절한 부원료를 첨가하여 재생 시멘트를 제조한다. 하지만, 본 연구에서는 콘크리트마다 나오는 폐미분의 특성이 다른점을 고려하여 실험을 통한 연구결과를 정량화시키기 위해 실험실에서 폐미분을 직접 제작하여 실험을 실시하였다. 재생시멘트의 제조방법은 그림 2와 같다. 우선, 시멘트:모래를 1:1로 제작하여 16주 양생을 실시한 후 실제 폐미분의 조건과 맞추어 주기 위해 2주간 촉진 중성화를 실시하였다. 그리고 조크러셔를 이용하여 1차 분쇄를 하였으며 Air밀로 미분화시키는 2차 분쇄를 실시하였다. 소성은 전기로에서 1시간 동안 600℃, 800℃, 1000℃의 3가지 유형으로 실시하여 폐미분을 활성화시켰으며 소성 후 냉각은 재료 내부의 에너지를 극대화시키기 위해 급냉법 중에서도 수냉법을 택하여 실시하여 80℃의 건조로에 넣어 건조시켰다. 그리고 수화반응을 유도시키기 위하여 여러 가지 부원료를 채택, 첨가하여 재생시멘트를 제조하였다.

표 1. Ca(OH)₂

성분	CaO	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	MgO	Ig.loss
(%)	73.2	0.74	0.09	0.19	25.2

표 2. NaOH

성분	NaOH	Cl	SO ₄	SiO ₂	Pb	Fe	Al	K	N	Na ₂ CO ₃
%	93	0.0	0.004	0.004	0.003	0.0015	0.005	0.4	0.002	2.0

표 3. NaCl

성분	NaCl	Cu	SO ₄	Ca	Pb	Fe	SO ₄	Mg	N	Ba
%	99.5	0.0002	0.002	0.002	0.0005	0.0002	0.0005	0.002	0.001	0.001

표 4. CaCl₂

성분	CaCl ₂	SO ₄	Ni	Pb	Am	Pb	Fe	Ba	As
%	95	0.001	0.006	0.003	0.005	0.002	0.001	0.01	0.003

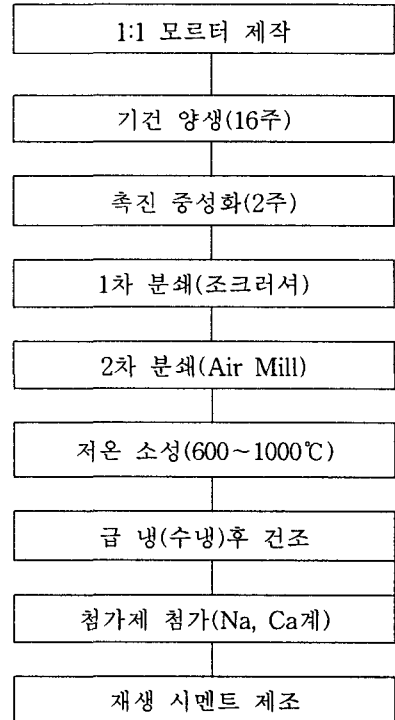


그림 2 시멘트 제조방법

4. 실험결과 및 고찰

표 5 페미분의 비중

온도	0℃	600℃	800℃	1000℃
비중	2.5	2.9	3.33	3.65

4.1 페미분의 기초특성

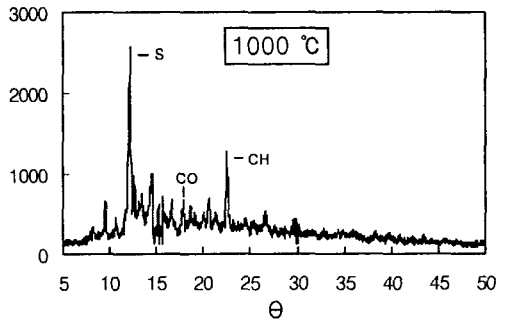
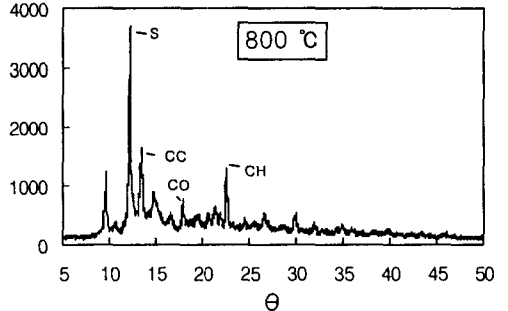
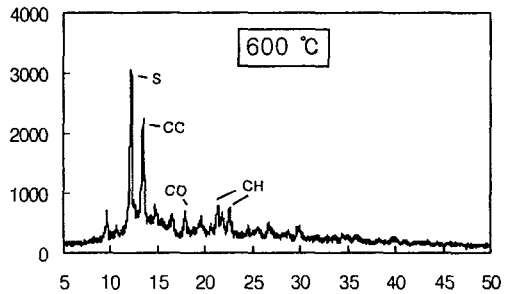
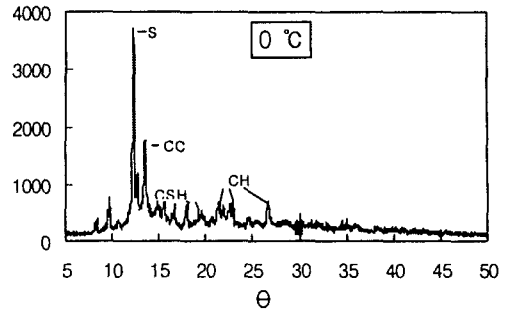
표5는 페미분의 소성 온도별 비중을 나타낸 것으로 소성 온도가 높아질수록 비중이 높아지고 있으며 특히 1000℃의 경우 시멘트 비중과 동등내지 그 이상의 높은 비중을 보이고 있는데, 이는 페미분이 1000℃의 고열에 입자들끼리의 용융에 의한 고상반응³⁾의 결과로 판단된다.

그림 3는 소성온도별 XRD분석을 나타낸 것으로 소성온도 0℃의 시료는 잔골재의 SiO₂와 시멘트수화반응 및 촉진중성화에 의해 CaCO₃가 존재하고 있음을 알 수 있으며 촉진 중성화를 시켰음에도 불구하고 Ca(OH)₂가 존재하고 있는 걸로 나타났다. 소성온도 600~800℃에서는 탈탄산에 의해 CaO가 생성되었으나 CaCO₃도 존재하고 있는 것을 알 수 있다. 1000℃에서는 CaCO₃가 탈탄산화에 의해 사라지고 CaO와 Ca(OH)₂가 존재하고 있는 것으로 나타났다. Ca(OH)₂는 600℃에서부터는 탈수에 의한 CaO가 생성되어야 하나 여기서는 소성 후 급냉 시 수냉법을 사용하여 Ca(OH)₂ 나타나는 것으로 사료된다.

4.2 재생 시멘트 경화체 기초 특성

4.2.1 배합설계

재생 시멘트 제조 배합은 표 7과 같이 배합하였다. 페미분말 원료를 전기로에서 600,800,1000℃의 3수준으로 소성 하여 급냉하여 건조로에서 건조한 후에 첨가제로 Na계에서는 NaOH, NaOH+NaCl 두가지와 Ca계인 Ca(OH)₂, Ca(OH)₂ + CaCl₂ 두가지로 총 4수준으로 하여 다양한 유형의 재생 시멘트를 배합하였다. 원료와 첨가제의 배합비는 원료 100%에 첨가제를 각각 6%씩 첨가하여 재생 시멘트를 제조하였다. 이렇게 제조된 재생 시멘트는 표 6과 같이 재생 시멘트 100%에 물/시멘트 32%로 배합 설계하였다.



· S:SiO₂ · CC:CaCO₃ · CH:Ca(OH)₂ · CO:CaO · CSH:CSH

그림 3 XRD 분석

표 6 배합표

물결합재비	결합재(재생시멘트)
32%	100%

4.2.2 플로우 변화

그림 4는 Na,Ca계 첨가 소성온도 변화에 따른 플로우 변화를 나타낸 것으로 소성 온도가 높아짐에 따라 플로우가 감소하는 결과를 보였다. 첨가제 종류에 따른 플로우 변화에서는 Na계 첨가가 Ca계 첨가보다 플로우가 더 높았다. 특히, Ca(OH)₂+CaCl₂ 첨가 1000℃ 소성에서는 플로우가 급격히 감소하였다. 이는 Na계는 물에 잘 녹으면서 수분이 조금 들어 있는 반면, Ca계는 분체 형태로 첨가되어 플로우를 저하시키며 Ca(OH)₂+CaCl₂ 첨가 플로우의 급격한 감소는 활성화 페미분과 부원료 간의 반응 촉진으로 인하여 발생한 것으로 사료된다.

4.2.3 흡수율 변화

그림 5는 재생 시멘트 경화체의 흡수율 변화를 나타낸 것으로 흡수율의 범위는 7~20%까지 흡수율이 높은 걸로 나타났다. Na계가 Ca계보다 흡수율이 전반적으로 높았다. 이는 Na계는 단순한 자극의 역할만을 하지만 Ca계는 자극뿐만이 아니라 반응물로서도 역할을 하며 조직의 치밀화가 이루어져 흡수율이 더 낮은 것으로 사료된다.

4.2.4 압축강도 변화

압축강도는 그림 6에서 나타나듯이 소성온도가 높아짐에 따라 전반적으로 강도가 증가하였으며 7일 강도 측정 결과 소정의 강도 발현으로 응결을 확인할 수 있었다. 28일 강도 측정결과 강도가 증가하는 것으로 보아 시간의 경과와 함께 강도가 발현되고 있음이 분석된다. 첨가제 종류별, 소성온도별 압축강도 증가량 양호한 강도 발현을 보이는 배합은 Na계에서는 활성화페미분 1000℃에 NaOH를 첨가

표 7 재생 시멘트 제조 배합

재생 시멘트 제조							
시리즈	소성(원료)			비소성 첨가(부원료)			
	원료 (%)	소성 온도 (°C)	소성 시간 및 방법	첨가제(%)			
				NaOH	NaOH+NaCl	Ca(OH) ₂	Ca(OH) ₂ +CaCl ₂
RC-1	100	600	1시간 예열 ↓ 소성 ↓ 수냉 ↓ 건조	6			
RC-2		800		6			
RC-3		1000		6			
RC-4	100	600			6		
RC-5		800			6		
RC-6		1000			6		
RC-7	100	600				6	
RC-8		800				6	
RC-9		1000				6	
RC-10	100	600					6
RC-11		800					6
RC-12		1000					6

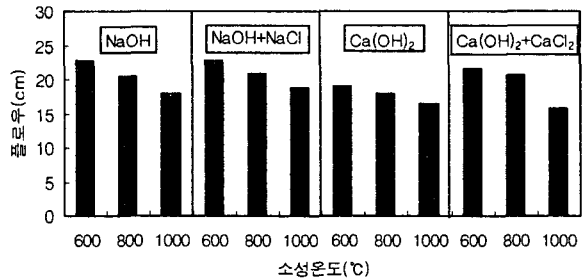


그림 4 플로우

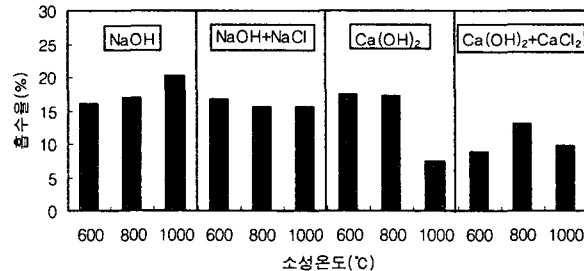


그림 5 흡수율 변화

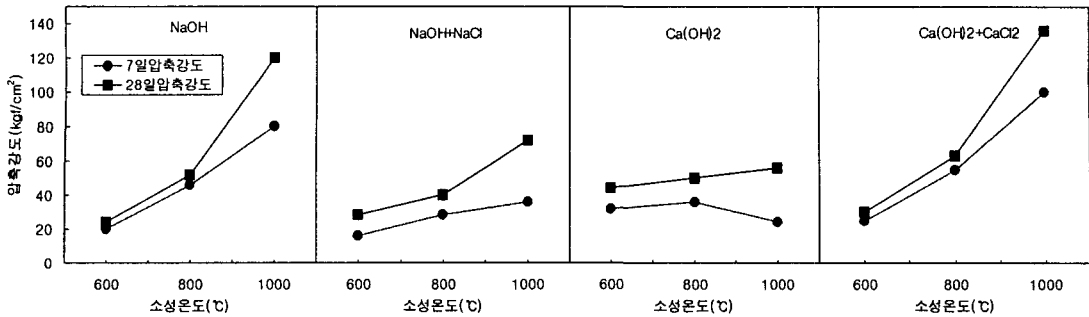


그림 6. 압축강도 변화

한 제조 배합에서 80~120 kgf/cm², Ca계에서는 활성 페미분 1000°C에서 Ca(OH)₂+CaCl₂를 첨가한 제조 배합에서 100~136kgf/cm²로 나타났다. 압축강도의 결과로부터 활성 페미분과 부원료의 반응으로 인한 응결, 경화와 활성 페미분의 잠재 수경성을 확인 할 수 있었다.

5. 결 론

페미분을 활성화하여 수화반응을 유도할 수 있는 재생시멘트 개발에 관한 본 연구에서는 페미분말의 수화반응을 유도하기 위한 부원료 종류 선정 및 플로우 및 압축강도 시험을 통하여 재생 시멘트의 유동성 및 응결, 경화 성능을 검토한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1)플로우는 소성온도가 높아짐에 따라 증가하고 있으며 Na계 첨가가 Ca계 첨가보다 플로우가 높았다.
- 2)압축강도는 소성 온도가 높아짐에 따라 강도가 증가하였으며, 7일에서 28일 강도증진으로 응결, 경화를 확인 할 수 있었다.
- 3)첨가제 종류별 압축강도를 보면 Na계에서는 NaOH가 Ca계에서는Ca(OH)₂+CaCl₂에서 소정의 압축강도를 발현함을 알 수 있다.
- 4)압축강도 결과 활성 페미분의 잠재 수경성과 활성 페미분과 부원료간의 반응성을 확인 할 수 있었으며 활성 온도는 800°C 이상 되어야 소정의 강도를 발현 할 수 있었다.

이상의 연구결과 본 연구에서 제시한 광물의 활성화에 의한 재생 시멘트 제조는 아직까지 그 강도가 미비하여 구조체로 사용되긴 어려우나 강도를 요구하지 않는 2차 제품 등에 사용이 가능하리라 사료된다.

참 고 문 헌

1. 嵩英雄,石倉武,小川秀夫."再生骨材製造副産微粉の利用技術", 日本建築學會, 2001年度大會學術講演概要集 p. 1323.
2. 박연동 외, 폐기물의 유효 이용과 콘크리트, 콘크리트 학회, VOL. 12 NO. 5 2000. 9 p. 24.
3. 황혜주, 고령토의 활성화 방법 및 활성 고령토를 혼합한 모르타와 콘크리트에 대한 연구, 서울대 대학원 박사논문, 1997.
4. 김무환의 재생미분말의 가열온도에 따른 기초물성 및 시멘트혼화재 적용성에 관한 연구, 콘크리트학회 봄학술발표논문집.