

콘크리트 구조물의 완전순환이용을 위한 페콘크리트계 미분말의 재생시멘트 활용 기술 연구

A Study on the Technique to Manufacture Recycled Cement from Cementitious Powders for Complete Recycling of Concrete Structures

박 차 원* 안 재 철** 강 병 희***
Park, Cha-Won Ahn, Jae-Cheol Kang, Byeung-Hee

Abstract

The purpose of this study is development of technique to use cementitious powder as recycle cement produced from deteriorated Concrete waste which has a large quantity of calcium carbonate. Therefore, after having theoretical consideration based on the properties of high-heated concrete and concerning about neutralization of Concrete, we analysis chemical properties of ingredients of cementitious powder. After making origin cement paste, then processing the accelerated carbonation, we consider the properties of hydration and chemical properties of cementitious powder under various temperature conditions.

As a result of the thermal analysis, the CaCO_3 content of cementitious powder would affect decision of heat temperature to recover its hydrated ability because CaCO_3 content is increased when neutralization is progressed. And as a result of XRD analysis, in case of origin powder of non-neutralized paste, CaO peak is found at 700°C . but, heat temperature to generate CaO would increase when the content of neutralized ingredients is increased. Finally, recycle cement heated at 700°C 120min. shows the best compressive strength when the content of neutralized ingredients in recycle cement is less then 50%.

키 워 드 : 페콘크리트계 미분말, 재생시멘트, 수화성, 중성화

Keywords : Cementitious Powder from Concrete Waste, Recycled Cement, Hydraulic Properties, Neutralization

1. 서 론

최근 국내외적으로 심각한 사회문제로 대두되고 있는 자원 부족 문제와 폐기물 처리에 관한 문제로 인하여 친환경 기술(ET) 개발의 필요성이 점차 증대되고 있다.

특히, 국내외 건축물 및 토목구조물의 주재료로 널리 이용되어 온 콘크리트는 최근 석회석 및 골재 등의 원자재난이 심각한 실정이며, 수명을 다한 구조물을 통해 배출되는 폐기물은 복합재료로서 철강재료와는 달리 재활용하기 어렵기 때문에 대표적인 환경오염 물질로 인식되고 있다. 따라서, 현재 건설폐기물량의 50% 이상을 콘크리트가 차지하고 있으며, 골재의 경우 최근 어려운 수급난에 겪고 있다. 특히, 골재에 비하여 대체자원이 부족한 시멘트의 경우 기존연구에 의하면 석회석 가채광년수가 40년으로 대체자원의 개발이 조만간 큰 문제로서 대두될 것으로 예측된다.

따라서, 건설폐기물의 일종인 콘크리트 폐계의 재자원화는 질이 좋은 천연자원의 고갈, 폐기콘크리트에 의한 환경파괴

등과 같은 문제점들을 해소하기 위해 반드시 행해져야 하며, 앞으로 이러한 재자원화에 관한 연구 또한 많은 분야에서 이루어져야 할 것이다.

이러한 사회적 배경에 의하여 최근 국내외를 중심으로 콘크리트를 재활용하기 위한 많은 연구가 진행되고 있으며, 국내에서도 페콘크리트를 이용한 재생골재(순환골재)가 실용화 단계에 있다. 특히, 현재까지 수화성이 없는 폐기물로서 활용도가 거의 없었던 페콘크리트의 20%이상을 차지하는 페콘크리트계 미분말을 불활성충전재 또는 혼화재료, 시멘트의 원료로서 재활용하기 위한 다양한 연구가 진행되고 있다.

그러나, 기존연구의 대부분이 재령 28일 시점에서의 모르타르 또는 콘크리트를 대상으로 연구가 행해지고 있으며, 이러한 실험상의 모재는 실제 콘크리트 폐기물내 수화물과는 화학적으로 많은 차이가 있게 된다. 따라서, 폐기시점 콘크리트의 경우, 최소한 콘크리트의 표면부터 피복까지는 중성화가 일어났다고 생각할 때, 페콘크리트를 이용한 재생시멘트의 개발에 있어 중성화에 의한 수화물의 화학적 변화를 고려하지 않으면 안될 것으로 생각된다.

따라서, 본 연구에서는 먼저 페콘크리트계 미분말의 화학 성분과 중성화과정에서의 화학적 특성의 변화를 고찰하여 재

* 동아대학교 대학원 건축공학과 박사수료, 정회원

** 동아대학교 건축학부 초빙교수, 정회원

*** 동아대학교 건축학부 교수, 정회원

생시멘트로서 활용하기 위한 기초적 연구를 행하였다. 그리고, 각 소성조건에서 페콘크리트계 미분말의 수화성 회복 특성을 도출하고자 하였다. 또한, 모재로서의 시멘트 페이스트를 제작 후 촉진중성화 과정을 거쳐 다양한 소성온도 조건 하에서의 화학적 특성과 수화반응 특성을 고찰하였다.

그리고, 각 배합조건에서의 재생시멘트 모르터의 물성을 고찰하여, 시멘트 수화물의 화학성분 변화에 따른 최적 재생 프로세스와 품질관리 방안을 모색하여 재생시멘트의 연구를 위한 기초자료를 제시하고자 하였다.

2. 페콘크리트계 미분말의 물성

2.1 페콘크리트계 미분말의 화학적 특성

표 1은 기존연구를 통해 제조되어진 재생시멘트의 화학분석 결과를 나타낸 것이다.

현재 페콘크리트계 미분말을 재생시멘트로 활용하기 위한 연구는 대부분 모르터 모재를 분쇄하여 페콘크리트계 미분말의 모델로서 실험을 행하고 있는 것이 대부분이다. 이는 불활성 충전재인 재생골재의 경우와 달리 재생시멘트는 수화성의 회복을 목적으로 하기 때문에 페콘크리트계 미분말의 화학적 특성이 재생프로세스의 개발에 있어 가장 중요한 영향을 미치기 때문이다. 특히, 실제 페콘크리트계 미분말의 경우 단위 시멘트량, 단위수량, 사용 혼화재료 등 배합이 다양하고 각 배합에 따른 구성 수화조각이 상이하며, 특히 폐기시점에 따라 화학성분의 변화가 크게 된다.

표 1. 페콘크리트계 미분말의 화학적 특성

SAMPLE		ig.loss	CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	SO ₃	insol.
京板 コンクリート (日本)	RAM	17.6	26.9	10.2	3.6	2.6	1.0	0.8	38.4
	RAM	-	17~23	44~53	9~11	1~4	-	-	49~69
김진만	RAM	-	17~23	44~53	9~11	1~4	-	-	49~69
오상균	P	12.4	56.7	17.2	4.5	2.5	2.4	1.0	-
안재철	M	4.9	32.7	42.2	9.52	3.03	1.8	0.8	-
박차원	M	7.2	37.9	42.9	3.9	2.47	2.52	1.26	32.5
OPC		1.0	62.0	21.3	5.4	3.5	3.3	1.64	0.1~0.2

※ P: 페이스트 모재, M: 모르터 모재
RAM: 재생골재 부착 모르터

표 1에서 日本 京板콘크리트(7)와 김진만⁸⁾의 연구결과는 재생골재로부터 채취한 부착 모르터(RAM)의 화학분석 결과이며, 저자 등에 의한 기존 연구결과²⁾는 재생시멘트를 제조하기 위하여 페이스트 및 모르터 모재를 이용한 페콘크리트계 미분말의 화학분석 결과이다.

강열감량분과 불용잔분 이외의 부분은 주로 시멘트 성분으로부터 나오기 때문에 CaO와 SiO₂가 주성분이며, CaO의 경우

京板콘크리트의 연구결과에 따르면 거의 CaCO₃형으로 존재하고 있는 것으로 나타나 페콘크리트의 폐기시점에 따라 많은 수화물이 중성화 된 것을 알 수 있다. 그러나, 불용잔분량과 SiO₂ 성분이 큰 것으로 나타났으며, 이는 잔골재 성분과 분쇄과정에서 골재가 마모된 부분의 혼입으로 판단된다.

따라서, 페콘크리트계 미분말의 재생시멘트로서의 재활용을 위해서는 모르터부분에서의 잔골재 성분의 분리가 가장 중요한 것으로 생각된다.

2.2 모재 페이스트의 중성화에 따른 열분석

그림 1은 중성화시료(NC)와 비중성화시료(NNC, NCO), 그리고 NC와 NNC를 50% 혼합한 모재 페이스트의 열분석 결과이며, 각 시료별 중성화를 대별하는 Ca(OH)₂ 및 CaCO₃를 정량화하면 그림 2와 같다.

측정결과, a)와 같이 비중성화시료의 경우 DTA곡선에서 Ca(OH)₂의 피크가 분명하게 나타났으며, TG 곡선에 의해 중량감소를 알아 본 결과 전체 시료중량의 20% (4.11mg) 정도를 차지하는 것을 알 수 있었다. 하지만 CaCO₃에 의한 피크는 거의 나타나지 않았다.

그러나, b)와 같이 중성화시료의 경우 비중성화 시료와는 반대로 DTA곡선에서 Ca(OH)₂의 피크는 아주 미량인 것으로 나타났으며, 700~850℃의 온도범위에서 CaCO₃의 피크가 크게 나타나 TG곡선에 의해 정량화한 결과 전체 시료의 30%(5.68 mg)정도를 차지하는 것을 알 수 있었다.

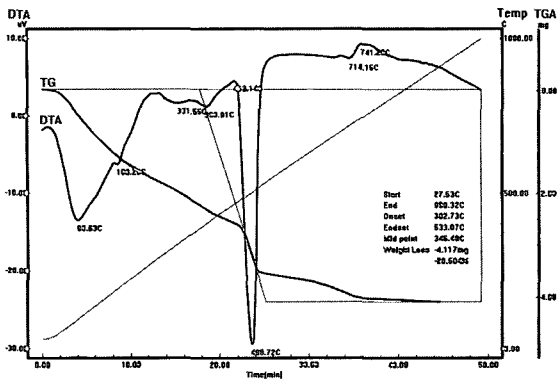
이러한 결과는 기존 연구⁵⁾에 따르면 Ca(OH)₂의 전량이 탄산칼슘으로 변화한다고 가정했을 때 CaCO₃의 중량 백분율은 20%안팎이 되므로, NC의 경우 시료 전중량의 10%에 해당하는 CaCO₃은 C-S-H 겔에 의한 것이라고 판단된다. 또한, c)는 중성화시료와 비중성화시료를 50%씩 섞은 것으로 시료 내의 Ca(OH)₂과 CaCO₃이 각각 16.4%, 15.9%로 대등하게 존재하는 것을 알 수 있었다.

3. 재생시멘트의 가공프로세스 도출

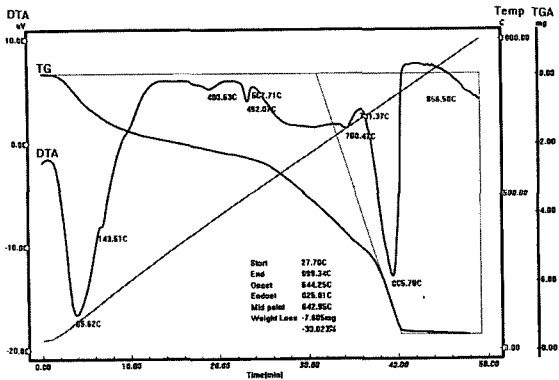
3.1 실험인자 및 수준

본 연구의 실험인자 및 수준은 표 2와 같다. 페콘크리트계 미분말은 콘크리트내 모르터를 통해 발생되므로, 페콘크리트의 모델로서 잔골재 혼입율(S/M) 45%, W/C 60%의 모르터 시험체(OM)를 재령 28일 후 분쇄하여 이용하였다. 또한, 모르터 중의 페이스트와 잔골재 부분의 효율적인 분리를 위해 예비가열 처리를 하였다.

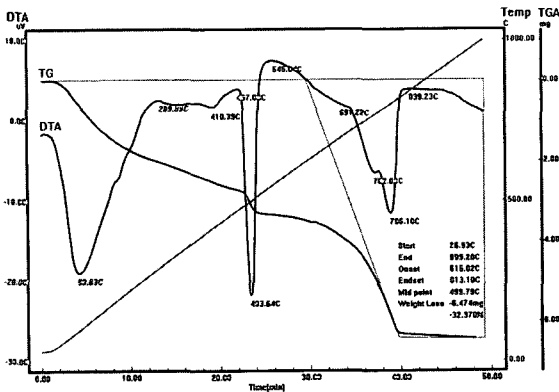
수화성 회복을 위한 소성온도는 저자 등에 의해 선행된 연구결과 400℃, 700℃, 1000℃의 실험에서 700℃ 소성조건에서 가장 우수한 강도를 나타내었으므로 정확한 소성온도 조건을 도출하기 위하여 600℃, 700℃, 800℃의 3수준으로 하였다. 또한, 소성시간을 60분, 90분, 120분으로 달리 하여 재생시멘트(RC) 제조를 위한 최적 가공프로세스를 찾고자 하였다.



a) NNC(비중성화시료)



b) NC(중성화시료)



c) NC+NC

그림 1. 모재페이스트의 열분석(TG-DTA)

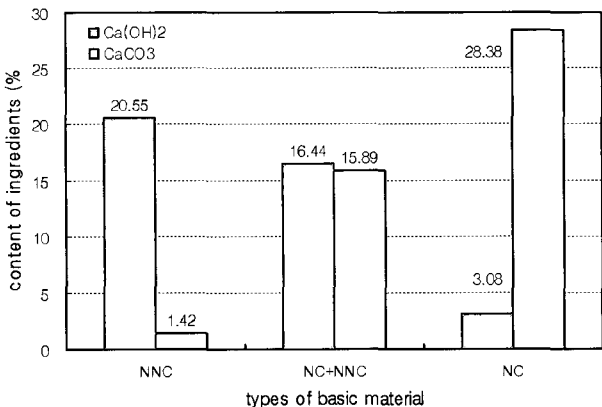


그림 2. 모재 시료내 성분 함유율

표 2. 실험인자 및 수준

母材 모르터 (OM)	recycled cement				recycled mortar		
	예비 가열	소성 온도 (°C)	소성 시간 (min)	냉각 방법	이수 석고 (%)	SP (%)	배합
S/M 45%	200°C 120분	600	60	상온 냉각	4	1	RM 배합은 OM 배합과 동일※
W/C 60%		700	90				
1	1	3	3	1	1	1	(계) 45

※ RM의 배합은, 재생시멘트(RC)의 비중이 OPC와 상이하기 때문에 잔골재혼입율을 45%로 하여 유동성에 영향을 미치는 페이스트의 양을 OM과 동일하게 한 후, W/C가 60%로 동일한 단위시멘트량과 단위수량을 산출하여 배합하였다.

3.2 사용재료

본 실험에서 사용한 각 재료의 물성은 표 3과 같다.

표 3. 사용재료의 물성

사용 재료	물 성	기호
보통포틀랜드시멘트	비중: 3.15 blaine : 3,200(cm^2/g)	C
잔골재	비중: 2.56, 흡수율: 2.29%, F.M: 2.48	S
고성능AE감수제	폴리카르본산계 SP-8K 비중: 1.07	SP

3.3 배합설계

본 연구에서 사용한 재생시멘트의 모재(母材)인 모르터(OM)의 배합은 표 4와 같다.

표 4. 모재 모르터의 배합

조건	기호	W/C (%)	S/M (%)	단위용적중량 (g/ℓ)		
				W	C	S
母材모르터	OM	60	45	360	600	1152

3.4 실험방법 및 측정

1) 재생시멘트의 제조

재생시멘트의 제조과정은 그림 3과 같으며, 본 연구에서는 시멘트 경화체와 잔골재의 분리를 용이하게 하기 위하여 20°C 120분간 예비가열 처리를 하였다.

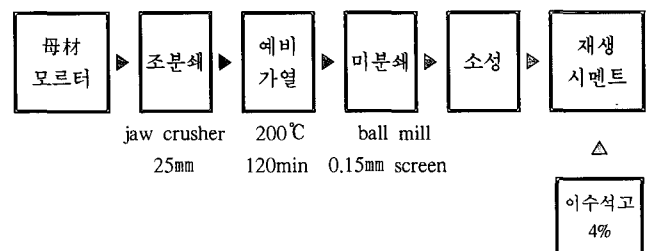


그림 3. 재생시멘트의 제조

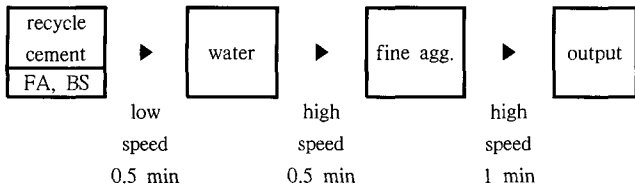


그림 4. 재생시멘트 모르터의 배합

2) 측정

본 연구를 위한 실험항목은 표 5와 같다.

표 5. 실험 항목

측정 항목	비고	
재생시멘트	화학분석	KS L 5201
	비중	KS L 5110
재생시멘트 모르터	플로우	KS L 5111
	압축강도	KS L 5105
재생시멘트 경화체의 미시구조	SEM(주사형 전자 현미경)	

3.5 실험결과 및 고찰

소성조건에 따른 재생시멘트의 물성은 표 6과 같으며, 재생시멘트를 이용한 모르터의 물성은 그림 5에서 그림 8과 같다. 소성온도별 소성시간에 따른 비중은 그림 5와 같으며, 소성온도와 시간에 비례해서 비중은 증가하는 것으로 나타났다.

표 6. 재생시멘트의 소성조건에 따른 비중

가공 조건	RM60 OT60	RM60 OT90	RM60 OT120	RM70 OT60	RM70 OT90	RM70 OT120	RM80 OT60	RM80 OT90	RM80 OT120	
비중	2.38	2.57	2.68	2.79	2.58	2.71	2.77	2.6	2.72	2.82

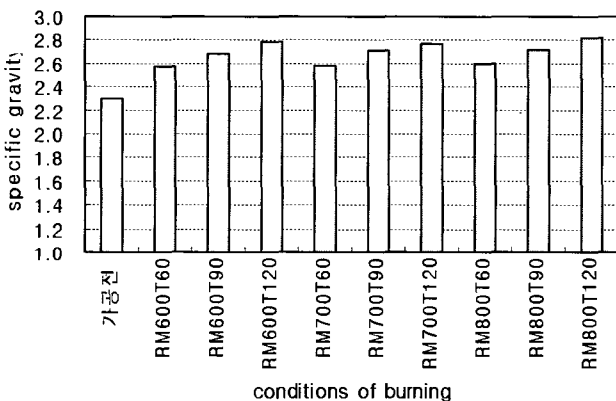


그림 5. 재생시멘트의 소성조건에 따른 비중

1) 재생시멘트 모르터의 물성

(1) 재생시멘트 모르터의 플로우

그림 6은 소성조건이 다른 재생시멘트를 사용한 모르터의 플로우를 나타낸 것이다.

기존 연구와 예비실험 결과 재생시멘트를 이용한 모르터

의 유동성이 다소 불량한 것으로 나타나, 본 연구에서는 재생시멘트 모르터에 고성능AE감수제를 분체기준 1% 혼합하여 사용하였다.

실험결과, 그림 6과 같이 재생시멘트 모르터의 플로우는 소성조건에 따라 큰 차이를 나타내었다. 소성온도 600℃의 경우 진동조건하에서의 플로우는 평균 278%로 나타났으나, 소성온도가 증가할수록 유동성은 급격히 떨어지는 것으로 나타났다. 특히, 소성온도 800℃ 소성시간 120분의 경우 비빔이 불가능할 정도의 급결현상을 나타내었다.

이와 같이 전체적으로 재생시멘트의 유동성이 급격히 저하하는 현상은 Ca(OH)₂의 탈수에 의해 생성된 CaO의 물과의 급격한 소화반응에 의한 단위수량의 소실에 의한 것으로 판단된다⁹⁾

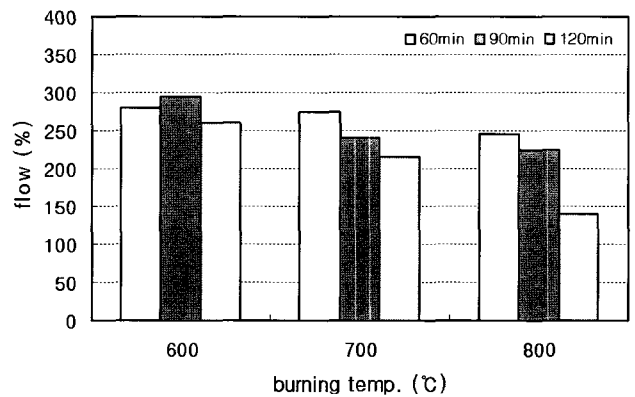


그림 6. 재생시멘트의 소성조건에 따른 모르터의 플로우

또한, 이는 고성능AE감수제를 혼합하지 않은 동일한 배합의 모래모르터의 플로우가 평균 330%인데 비하여 크게 낮은 결과이며, 향후 재생시멘트의 레올로지 특성에 관한 연구가 진행되어야 할 것으로 판단된다.

(2) 재생시멘트 모르터의 압축강도

(가) 소성조건에 따른 압축강도

그림 7은 재생시멘트 모르터의 재령 28일 압축강도를 나타낸 것으로 소성온도 400, 700, 1000℃, 소성시간 60분의 조건에서 실험을 행한 선행된 연구결과에서는 700℃의 경우가 강도발현이 가장 우수하였다.

실험결과, 소성온도 600℃의 경우, 평균 5.7MPa, 700℃ 평균 7.3MPa, 800℃ 평균 5.7MPa로 나타나, 콘크리트계 미분말은 600℃, 700℃, 800℃ 소성시 수화성을 회복하는 것으로 나타났다. 특히 소성조건 700℃ 90분, 120분의 경우가 가장 높았으며, 재령 7일, 28일 모두 소성시간에 관계없이 균일한 강도를 나타내어 재생시멘트의 수화성 회복에 있어 최적 조건으로 판단된다. 그러나, 소성온도 600℃의 경우, 이론적으로는 Ca(OH)₂가 CaO로 분해되는 온도인 500℃ 이상인 조건이었으나, 재령 7일인 경우 소성시간에 따른 강도편차가 크고, 28일 강도가 낮아 품질 관리에 있어 문제가 있을 것으로 판단된다.

이상과 같이 재생시멘트는 재령 28일을 기준으로 보통 포트랜드 시멘트에 비하여 강도가 낮은 것으로 나타났

며, 이는 모재모르터와 재생모르터의 높은 물시멘트비와 모재 모르터 중 45% 가량 혼합된 잔골재 중 다량이 재생시멘트에 혼합되어 있기 때문인 것으로 판단된다.

특히, 그림 8의 선행된 연구결과를 토대로 고찰해 볼 때, 재생시멘트의 모재가 페이스트로 잔골재가 없는 경우의 압축강도는 30MPa 이상으로 모재모르터에 잔골재가 30, 40, 50%(S3, S4, S5) 혼합된 경우에 비하여 우수한 강도성상을 나타내는 것을 알 수 있다. 따라서, 향후 재사용이 가능한 완전 순환형 콘크리트의 개발을 위해서는 재생시멘트 내 잔골재 미분말의 혼입량을 감소시키는 기술의 개발이 필수적이다.

(나) 재령에 따른 압축강도

재생시멘트의 경우 7일 강도가 28일 강도의 약 55~60% 발현하는 것으로 나타났으며, 이는 보통 포틀랜드시멘트를 사용한 경우 일반적으로 65% 이상 강도발현을 하는 것과 비교할 때 다소 낮은 값이다. 이러한 결과는 화학성분 분석결과에서 전술한 바와 같이, 낮은 CaO 함량으로 인한 수경률(H.M.)의 저하에 기인한 것으로 판단된다.

(다) 재생시멘트의 SEM

그림 9는 재생시멘트 모르터 경화체의 미시구조를 주사형전자현미경(SEM)으로 관찰한 것이다.

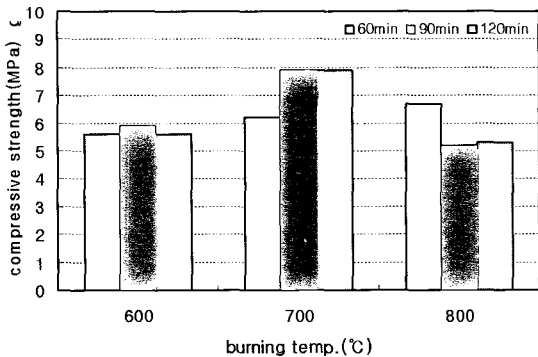


그림 7. 재생시멘트의 소성조건에 따른 모르터(RM)의 압축강도

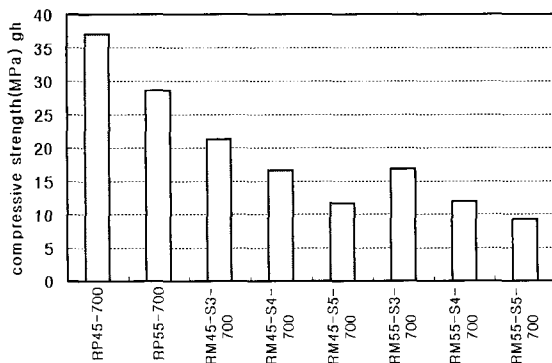
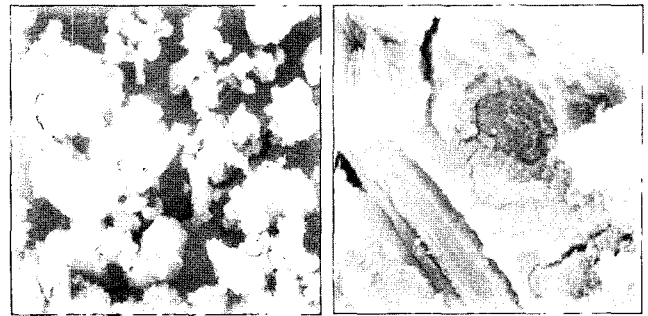
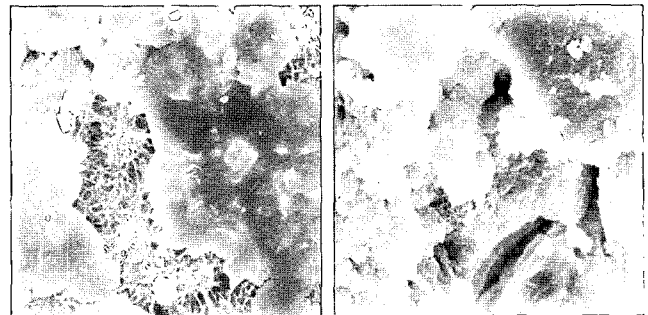


그림 8. 모재의 배합조건에 따른 재생시멘트 모르터의 압축강도



a) 재생시멘트 (X5k) b) 700T120 (7일, X10k)



c) 700T90 (28日, X5k) d) 700T120 (28日, X5k)

그림 9. 재생시멘트 경화체의 미시구조

사진 a)는 재생시멘트의 모습이며, 사진 b)는 재령 7일의 재생시멘트 수화조직으로 수산화칼슘으로 추정되는 육각판상(六角板狀) 조직의 모습이다. 그러나, 이러한 수산화칼슘이 소성가공 전 모재 모르터 내 존재한 것인지, 재생시멘트의 수화과정 속에서 생성된 것인지는 추후 연구가 필요하다.

또한 사진 c)와 같이 재령 28일의 재생시멘트 수화조직내 에트링가이트와 같은 침상조직이 다양하게 발견되었으며, 재생시멘트의 높은 압축강도를 감안할 때, 재령이 계속되면서 활발한 수화반응이 나타남을 알 수 있었다.

4. 폐콘크리트의 열화에 따른 재생시멘트의 물성

4.1 실험인자 및 수준

본 연구의 실험인자 및 수준은 표 7과 같다. 모재(母材)로서는 재생시멘트의 물리적 화학적 영향을 미치는 잔골재를 제외한 페이스트를 이용하였으며, 그중 일부를 중성화시켜 폐콘크리트계 미분말에 일부를 치환하여 사용하였다. 특히, 열화콘크리트는 중성화로 인하여 Ca(OH)₂ 뿐만 아니라 C-S-H 겔까지 CaCO₃로 변함으로써, 재생시멘트의 개발을 위해서도 CaCO₃의 분해가 가장 중요한 인자가 될 것으로 사료된다. 따라서, 콘크리트계 미분말의 수화성 회복을 위한 소성온도는 고온수열 콘크리트의 특성을 토대로 700°C, 900°C, 1100°C의 3수준으로 하였다.

표 7. 실험인자 및 수준

인자	모재 페이스트	모재 중 중성화페이스트 혼합율	소성 온도 (°C)	소성 시간 (min)	recycled mortar
수준	W/C 50%	0% (NC0) 10% (NC1) 30% (NC3) 50% (NC5) 100% (NC10)	700 900 1100	120	W/R:C : 60% S/M : 40% SP : 2%
수준수	1	5	3	1	-

4.2 배합설계

모재 페이스트의 배합은 표 8과 같다.

표 8. 모재 페이스트의 배합

조건	기호	W/C (%)	unit weight (g/l)	
			W	C
母材페이스트	OP	50	612	1223

4.3 사용재료

본 실험에서 사용한 각 재료의 물성은 표 3과 같다.

4.4 실험방법 및 측정

1) 재생시멘트의 제조

재생시멘트의 제조과정은 그림 10과 같다.

모재는 잔골재를 혼합하지 않은 페이스트를 사용하였으며, 28일 수증양생 후 미중성화용 모재(NNC, NC0)로 사용하였다. 그리고 중성화된 모재는 28일 양생한 페이스트를 온도 30°C, 상대습도 60%, CO₂ 농도 20%로 6주간 축진 중성화 양생을 실시하여 모재(NC)로 사용하였다.

재생시멘트는 NNC와 NC를 실험인자에 준하여 혼합한 후 소성과정을 거쳐 제조하였다.

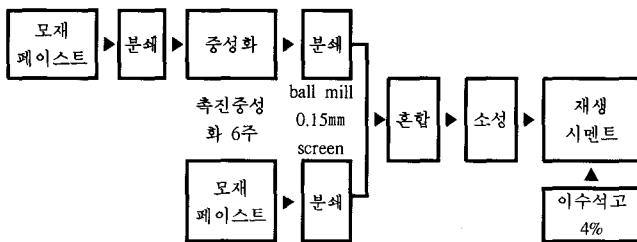


그림 10. 재생시멘트의 제조

2) 측정

본 연구를 위한 실험항목은 표 8과 동일하다.

4.5 실험결과 및 고찰

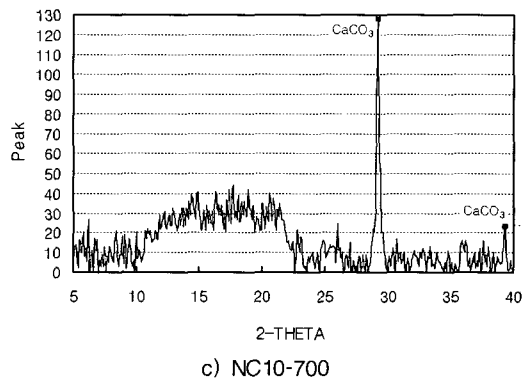
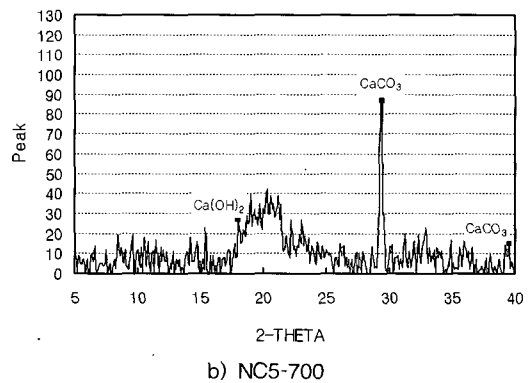
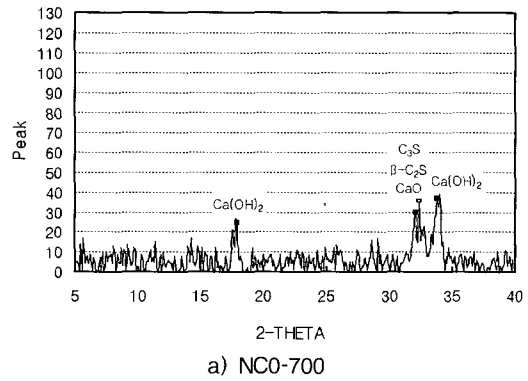
1) 재생시멘트의 XRD 분석

그림 11은 재생시멘트의 모재조건과 소성조건에 따른 XRD 분석의 결과를 나타낸 것으로, 기존 연구결과와 같이 모재로 미중성화 페이스트(NC0)를 사용한 경우, 그림 11의

a)와 같이 수화물의 많은 부분이 Ca(OH)₂로 이루어져 있어 모든 소성온도에서 탈수반응에 의한 CaO가 C₃S, C₂S의 피크로서 나타났다. 그러나, 모재 중 중성화 페이스트 함량이 증가할수록 CaCO₃의 탈탄산반응에 의한 CaO성분이 고온소성(1100°C)조건에서 나타난 것을 알 수 있다. 특히, NC0-700 즉, 700°C로 비중성화시료만을 소성한 경우는 Ca(OH)₂과 함께 CaO의 피크가 나타나지만, NC5-700와 NC10-700의 경우는 CaCO₃의 피크가 크게 나타나 CaCO₃의 탈탄산반응이 전혀 일어나지 않은 것으로 판단된다.

소성온도 1100°C의 경우는 모든 조건에서 CaO 피크가 나타나 CaCO₃의 탈탄산 반응이 일어난 것으로 판단된다. 특히, 중성화 시료만을 사용한 NC10에서 1100°C로 소성한 경우 700°C와 비교하였을 때, 탈탄산으로 인한 CaO 피크가 나타난 것을 확인할 수 있다.

따라서, 중성화에 따른 모재의 화학변화가 확연히 나타나는 점을 고려할 때, 폐콘크리트의 재생시점에 따른 재생시멘트의 품질관리에 다소 어려움이 있을 것으로 판단된다.



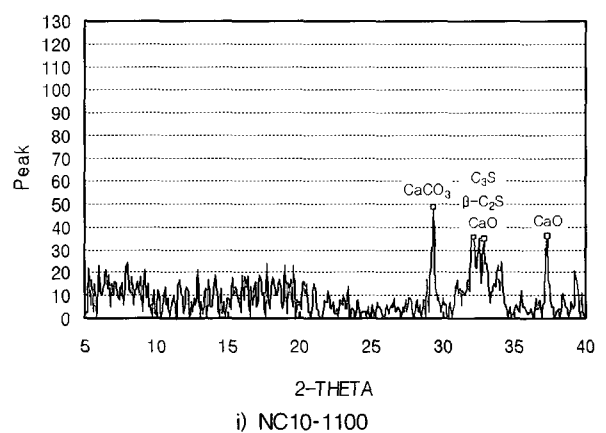
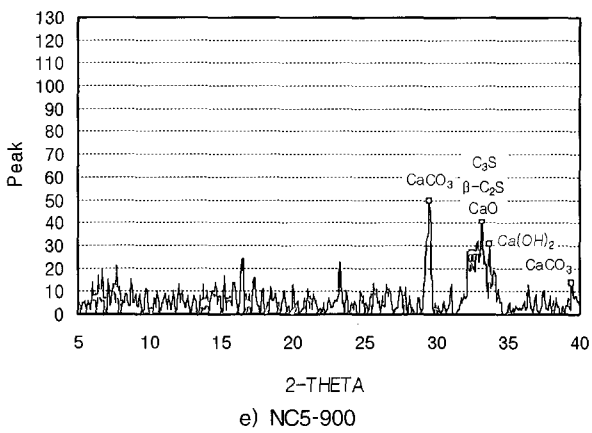
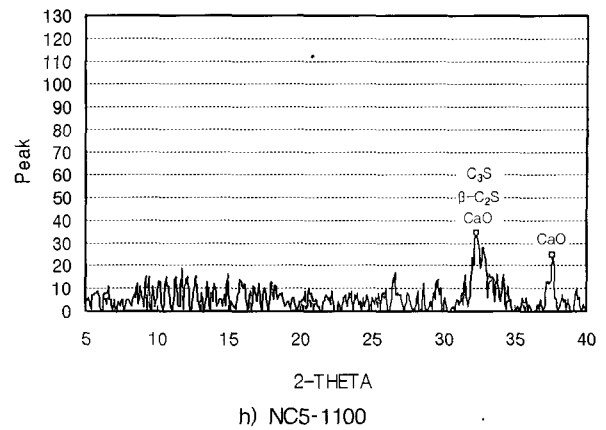
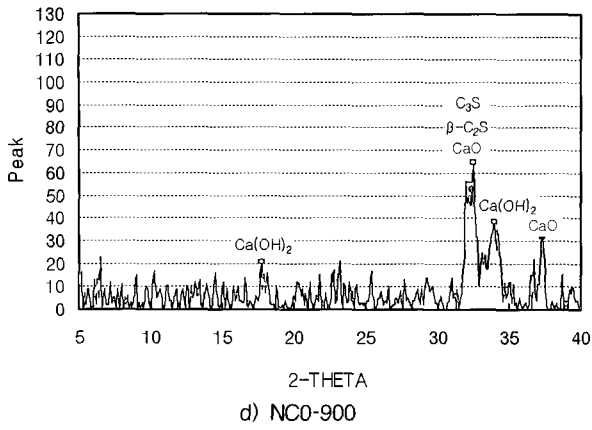
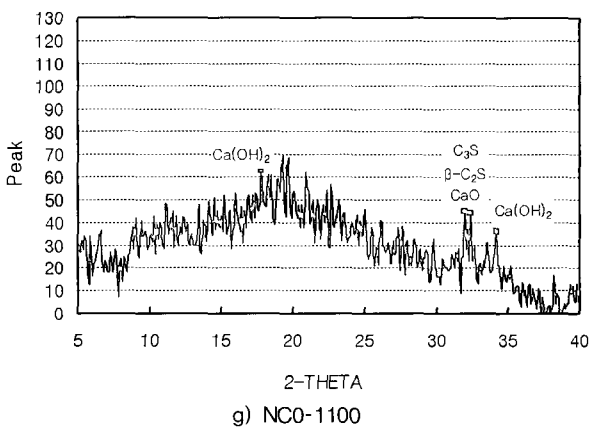
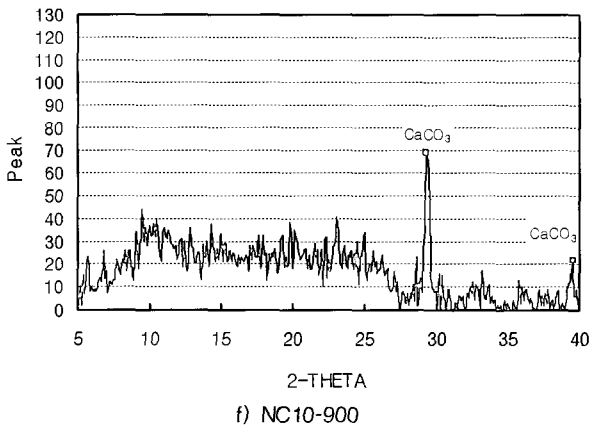


그림 11. 재생시멘트의 혼합율별, 소성온도별 XRD



2) 재생시멘트 모르타의 플로우

그림 12는 진동조건하에서의 재생시멘트 모르타의 플로우를 나타낸 것이다. 기존의 연구결과와 마찬가지로 재생시멘트를 이용한 모르타는 고성능 감수제를 2% 첨가하였음에도 불구하고 유동성이 나쁜 것으로 나타났다. 그러나, 소성온도 700°C의 경우는 유동성이 우수한 것으로 나타났으며, 모재중 중산화 성분의 함유율이 증가할수록 플로는 증가하는 것으로 나타났다. 그러나, 소성온도 900, 1100°C의 조건에서는 플로우시험이 불가능할 정도로 급결현상이 나타났다.

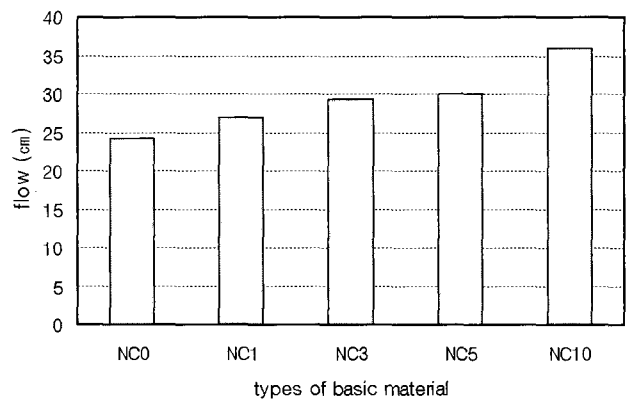
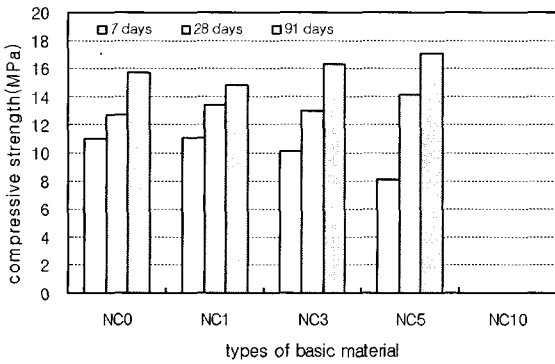


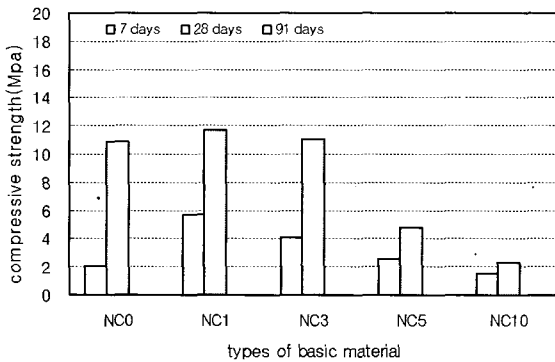
그림 12. 재생시멘트 모르타의 플로우(700°C 소성, 진동조건)

3) 재생시멘트 모르터의 압축강도

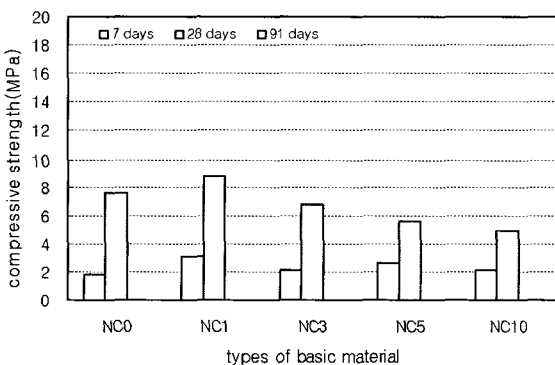
그림 13, 14는 재생시멘트를 이용한 모르터의 재령 7일, 28일, 91일(700℃) 압축강도를 나타낸 것이다. 선행된 연구결과, 미중성화(재령 28일) 모재의 수화성 회복을 위한 최적조건인 700℃가 중성화가 진행된 경우에도 강도발현이 가장 우수하였으며, 모재 중 50%가 중성화된 NC5까지는 28일 압축강도가 12.5~15.0MPa, 91일 압축강도가 15.0~17.0MPa의 범위로 변화가 거의 없었다. 오히려 중성화 모재의 혼입율이 증가함에 따라 장기재령일수록 강도는 다소 증가하는 것으로 나타났다.



a) 소성온도 700℃ 압축강도



b) 소성온도 900℃ 압축강도



c) 소성온도 1100℃ 압축강도

그림 13. 소성온도 및 재령별 압축강도

이러한 결과는 재령 7일 압축강도의 경우, 모재 중 중성화 페이스트 혼입율이 증가할수록 강도는 감소하여 NC5가 NC0에 비하여 약 70%의 강도발현을 나타내는 것과는 대조적이

다. 따라서, 모재 중 중성화 성분이 증가할수록 28일 및 장기 강도의 변화는 크지 않으나, 초기강도 발현율은 NC0의 경우 87%에서 NC5의 경우 57%로 점차 감소하는 추세를 나타내었다. 그러나, 모재 전체가 중성화된 NC10의 경우 700℃의 소성조건으로는 수화성을 회복하지 못하여 시험체 제작이 불가능하였으며, 강도는 다소 낮았으나 소성온도 1100℃의 경우가 가장 우수하였다. 이는 XRD와 열분석 결과에서 나타난 바와 같이 중성화시료 내에 다량 존재하는 CaCO₃의 탈탄산 반응이 진행되지 않았기 때문인 것으로 판단된다.

따라서, 실험결과에서는 소성온도 700℃의 조건에서 중성화 성분 혼입율 50%까지는 압축강도의 감소가 크지 않은 것으로 나타났으나, 모재의 화학적 특성과 NC10을 이용한 재생시멘트의 수화특성을 통해 고찰해 볼 때, 중성화에 의한 모재의 화학성분 변화는 재생시멘트의 품질관리에 있어 문제점으로 작용할 것으로 판단된다.

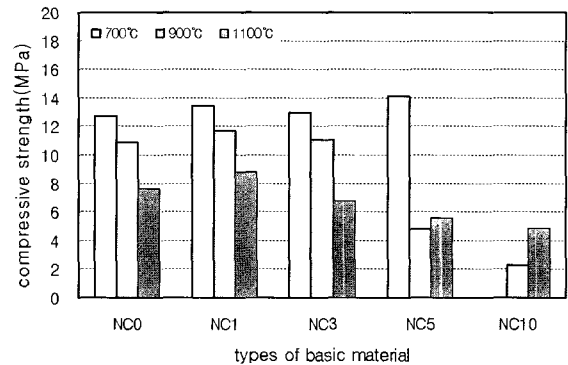


그림 14. 재생시멘트 소성온도별 압축강도(재령 28일)

5. 결 론

본 연구에서는 폐 콘크리트계 미분말의 효율적인 재활용 방안의 일환으로 재생시멘트로서의 활용을 위하여 폐콘크리트계 미분말의 열화에 따른 화학적 특성과 이에 따른 각 소성조건에서의 수화특성을 실험을 통하여 고찰하였다.

본 연구에서 얻은 결과를 정리하면 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) 재생시멘트의 화학분석 결과 CaO와 SiO₂가 주성분인 것으로 나타났으나, 보통시멘트에 비하여 CaO의 양이 크게 감소한 것으로 나타났다.
- 2) 모재 페이스트의 열분석에 의한 성분분석 결과, 폐콘크리트계 미분말은 중성화가 진행될수록 CaCO₃ 성분의 함유율이 증가하는 것으로 나타나, 재생시멘트의 수화성 회복을 위한 소성프로세스의 결정에 있어 영향을 미치는 것으로 보인다. 따라서, 폐기시점이 다른 폐콘크리트계 미분말을 이용한 재생시멘트의 품질관리에 도 영향을 미칠 것으로 판단된다.
- 3) 재생시멘트의 소성온도가 증가할수록 모르터의 유동성은 급격히 떨어지는 것으로 나타났다.

4) 콘크리트계 미분말은 600~800℃ 온도범위에서 소성시 수경성을 회복하는 것으로 나타났으며, 소성온도 700℃, 소성시간 120분이 강도측면에서 가장 우수한 최적조건인 것으로 판단된다.

그러나, 잔골재 혼입에 따른 강도저하가 큰 것으로 나타나, 페콘크리트 모재 중 잔골재 미분말의 효율적인 분리 기술의 개발이 재생시멘트의 품질관리 측면에서 중요할 것으로 사료된다.

5) 재생시멘트의 X선 회절분석 결과, 미중성화 페이스트 모재의 경우 소성온도 700℃에서 CaO 피크가 높은 것으로 나타났으나, 모재중 중성화 성분량이 증가할수록 CaO 발생을 위한 소성온도가 증가하였다.

6) 재생시멘트를 이용한 모르타의 경우 700℃ 소성조건에서 유동성이 양호하였으며, 모재중 중성화 성분량이 증가함에 따라 유동성이 개선되는 것으로 나타났다. 그러나, 소성온도 900℃, 1100℃에서는 급결현상이 나타났다.

7) 중성화 성분의 혼합율이 50% 이하의 모재에서는 소성온도 700℃가 가장 우수한 강도성상을 발현하였으며, 혼합율에 따른 압축강도의 변화도 크지 않았다.

그러나, 중성화에 따른 모재의 화학변화가 확연히 나타나고, 중성화 100%의 경우 700℃ 소성조건에서 수화가 이루어지지 않은 점을 고려할 때, 페콘크리트의 재생시점에 따른 재생시멘트의 품질관리에 다소 어려움이 있을 것으로 판단된다.

이상과 같은 연구결과, 페콘크리트계 미분말의 재가공을 통하여 재생시멘트로서의 활용이 가능한 것으로 나타났다. 그러나, 보통시멘트와 수화반응 특성에 있어 많은 차이가 있으므로, 향후 관련연구가 이루어져야 할 것으로 판단된다.

또한, 본 연구에서 사용한 중성화된 페콘크리트계 미분말의 모재는 실제 구조물에서 채취한 페콘크리트와는 다소 차이가 있을 것으로 판단된다. 향후, 폐기시점의 콘크리트에서 발생되는 미분말의 화학분석과 미세구조 분석을 통하여 재생시멘트 모재의 재령에 따른 품질관리 방안에 관한 연구가 필요하다.

참 고 문 헌

1. 吳相均·安宰徹 外, 韓國での建設廢棄物の發生量とリサイクルに關する考察, 日本建築學會大會學術講演便概集, 2002年8月, pp.991-992
2. 吳相均·安宰徹 外, セメントモルタルの加熱粉碎による再生セメントへの再利用, 日本建築學會大會學術講演便概集, 2002年8月, pp.993-994
3. 안재철 외, 페콘크리트계 미분말의 소성조건에 따른 재생시멘트의 물성, 대한건축학회 논문집(구조계) 제19권 11호, 2003. 11., pp.109-116
4. 강병희, 초음파에 의한 고온수열콘크리트의 강도추정에 관한 실험적 연구, 한양대학교 박사학위논문, 1989
5. 小林一輔, コンクリート構造物の早期劣化と耐久性診断, 森北出版, 1991年7月
6. 小林一輔, コア採取によるコンクリート構造物の劣化診断法, 森北出版, 1998年4月
7. 한국유기성폐자원학회 편저, 건설폐기물의 재활용, 동화기술, 1999
8. 김진만, 콘크리트 리사이클링에 관한 해외 동향과 재생 골재의 특성, 공주대학교 자원재활용 신소재 연구센터, 2001. 12
9. 장중호 외, 재생미분말의 가열온도에 따른 기초물성 및 시멘트 혼화재 적용성에 관한 연구, 콘크리트학회 봄학술발표논문집, 2001. 12
10. 정재동, 콘크리트 재료공학, 선성각, 2002
11. 박승범, 건설폐기물의 국내의 재활용기술의 현황 그리고 처리 및 재활용 실태, 콘크리트학회, 2000
12. 오병환 외 22명, 최신 콘크리트공학, 기문당, 1992
13. 김광우 외 3명, 콘크리트 재활용 실태 및 연구동향, 콘크리트학회지, 6권 6호, 1994
14. 윤재환, 포틀랜드 시멘트 및 콘크리트, 세진사, 1990
15. 김규봉, 재생 미분말을 이용한 신재료, 신공법(지반개량 재료의 이용), 콘크리트 학회지, 2003, 3
16. Torben C. Hansen, Recycled concrete aggregate and fly ash produce concrete without portland cement, Cement and Concrete Research, Vol. 20, Aug.1989, pp. 355-356
17. S.L. Sarkar and D.N. Little, Microstructural Investigation of Severe Distress in a Crushed Concrete Base, Cement and Concrete Research, Vol. 28, No. 3, 1998, pp. 401-410