

페콘크리트 미분말을 이용한 재생시멘트 모르타의 중성화 특성

Carbonation Properties of Recycled Cement Mortar made of Cementitious Powder from Concrete Waste

김진양* 박차원** 안재철*** 강병희****
 Kim, Jin-Yang Park, Cha-Won Ahn, Jae-Cheol Kang, Byeung-Hee

Abstract

Recently, there have been many studies about recycling cementitious powder from concrete waste(hereinafter referred to as waste powder), generated after recycle aggregate production. Previous studies showed that when the heating process of waste powder at 700°C, Ca(OH)₂ in paste is dehydrated making possible the restoration of hydraulic properties. Recycled cement with hydraulic properties restored is thought to be re-hydrated through the mechanism of hydration, which is almost similar in Portland cement. This clearly suggests that the hydrate of recycled cement is alkali in type. Like in general concrete, if recycled cement is used as a structural material, resistance performance against carbonation or neutralization by CaCO₃ in air probably would be most influential to the life of steel-reinforced concrete structure. Thus the purpose of this study is to make an experimental review on chemical properties of recycled cement, manufactured with concrete waste as base material, and investigate the durability of concrete using recycled cement through evaluating the cement's performance of resistance to carbonation in accordance with its accelerating age. Based on its results, further, the study seeks to provide basic information about ways of utilizing recycled cement.

키워드 : 페콘크리트계 미분말, 재생시멘트, 중성화, 내구성

Keywords : Cementitious Powder from Concrete Waste, Recycled Cement, Carbonation, Durability

1. 서론

최근 페콘크리트를 재활용하기 위한 많은 연구가 진행되고 있으며, 재생골재의 고품질화를 위한 부차 모르타 제거기술과 재생 잔골재의 개발기술도 활발히 이루어지고 있다. 그리고, 이와 함께 재생골재 생산 후 발생하는 페콘크리트 부산 미분말(이하, 페미분말)을 재활용하기 위한 연구도 다양하게 진행되고 있다.

특히, 페미분말을 수경성을 가진 재생시멘트(이하, 재생시멘트)로서 활용하고자 하는 연구가 저자 등을 위주로 활발히 이루어지고 있으며, 현재 모델단계의 실험을 통하여 수화성 회복의 최적 제조프로세스가 도출된 단계이다.

그러나, 이러한 재생시멘트를 실제 구조물에 적용하기 위해서는 페미분말을 이용한 재생시멘트의 화학적 분석에 대한 연구가 면밀히 이루어져야 하며, 다양한 내·외부 환경조건에 따른 내구성능도 필수적으로 검토되어야만 한다.

그리고 이러한 연구결과를 바탕으로 재생시멘트의 용도가 결정되고 이에 적합한 요구성능에 대한 최적 배합이 이루어질 것으로 판단된다.

저자 등에 의한 선행된 연구결과¹⁾⁻⁴⁾에서는 페미분말을 700°C로 소성·가공한 경우, 페이스트 내부의 수산화칼슘의 탈수반응으로 인하여 수화성 회복이 가능한 것으로 나타났으며, 잔골재성분과의 계면분리가 용이하게 이루어질 경우 압축강도가 크게 높아지는 것으로 나타났다.

이러한 경우, 수화성을 회복한 재생시멘트는 보통 포틀랜드 시멘트와 거의 유사한 수화기구에 의해서 재수화하는 것으로 판단되기 때문에 재생시멘트 수화물 또한 알칼리성을 나타낼 것으로 보인다. 그리고, 재생시멘트가 구조재료로서 사용될 경우, 보통 콘크리트와 마찬가지로 공기 중의 탄산칼슘에 의한 탄산화 또는 중성화에 의한 저항성능이 철근콘크리트 구조물의 수명에 가장 큰 영향을 미칠 것으로 판단된다.

따라서, 본 연구에서는 선행된 모델단계의 연구결과를 토대로 배합과 재령을 알 수 없는 실제 페콘크리트를 모재로서 제조한 재생시멘트의 화학적 특성을 실험을 통해 고찰하고, 각 축진재령에 따른 중성화 저항성능을 고찰하여 재생시멘트를 이용한 콘크리트 제품의 내구성능을 평가하고자 한다. 그리고 이러한 결과를 바탕으로 향후 재생시멘트의 활용방안을 위한 기초자료를 제시하는데 목적이 있다.

* 동아대학교 대학원 건축공학과 석사과정, 정회원

** 동아대학교 대학원 건축공학과 박사수료, 정회원

*** 동아대학교 건축학부 초빙교수, 공학박사, 정회원

**** 동아대학교 건축학부 교수, 공학박사, 정회원

2. 실험

2.1 실험인자 및 수준

본 연구에서는 모델단계의 연구결과를 토대로 배합과 재령을 알 수 없는 실제 폐콘크리트를 모재로서 제조한 재생시멘트의 화학적 특성과 미시구조를 분석하고 재생시멘트의 중성화에 의한 내구성능을 검토하고자 하였다.

따라서, 보통시멘트(OPC)와의 중성화 저항성능을 비교하기 위하여, 재생시멘트(RC)를 치환하여 사용하였으며, 내구성에 영향을 미치는 물분체비(W/B)를 50, 60%로 하였다. 본 연구의 실험인자는 표 1과 같다.

표 1. 실험인자 및 수준

인자	재생시멘트 모르타				촉진중성화 재령(주) (CO ₂ 10%)
	재생시멘트 (RC)	재생시멘트 치환율 (RC%)	W/B (%)	S/M (%)	
수준	650℃ 소성 0.15mm screen	0 (RC0)	50	45	1주
		20 (RC20)			2주
		40 (RC40)	4주		
		60 (RC60)	6주		
		100 (RC100)	8주		
수준수	1	4	2	1	5

2.2 사용재료

본 실험에서 사용한 각 재료의 물성은 표 2와 같으며, 재생시멘트의 제조과정은 그림 1과 같다.

표 2. 사용재료의 물성

사용재료	물성	기호
재생시멘트	비중: 2.67 0.15mm screen	RC
보통포틀랜드시멘트	비중: 3.15 blaine: 3,200(cmf/g)	C
잔골재	비중: 2.56, 흡수율: 2.29%, F.M: 2.48	S
고성능AE감수제	폴리카르보산계 SP-8K 비중: 1.07	SP

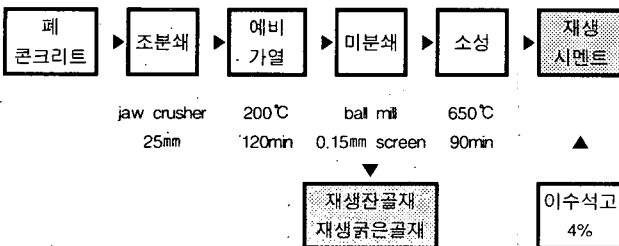


그림 1. 재생시멘트의 제조

재생시멘트의 모재는 부산경남지역의 폐콘크리트를 재활용하여 재생골재를 제조하는 S사의 폐콘크리트를 수거하여 사용하였으며, 미분말의 열분석 결과는 그림 2와 같다. 기존의 모델단계의 연구에서는 폐미분말의 수화성 회복을 위한 최적 소성온도를 700℃로 보고하고 있으나, 저자 등이 실제 폐콘

크리트 미분말을 이용한 최근의 연구결과 650℃의 경우가 강도성상이 우수한 것으로 나타나 본 연구에서는 재생시멘트의 제조온도를 650℃로 하였다.

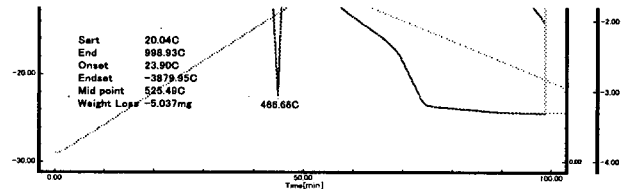


그림 2. 폐콘크리트 미분말(가공전)의 열분석(TG-DTA)

2.3 촉진 중성화 시험

1) 시험체 제작 및 촉진 양생

시험체는 Ø5×10cm의 공시체를 각 배합별, 촉진중성화 재령별로 제작하였다. 시험체는 4주간 수중양생을 실시하였으며, 이후 상대습도 60±5%, 온도 20±2℃의 항온항습실에서 4주간 정치하였다.

촉진 중성화의 양생조건은 현재 국내에는 관련 규준이 없는 실정이며, 일본의 JIS A 1153 「コンクリートの促進中性化試験方法」에서는 온도 20±2℃, 상대습도 60±5%, 이산화탄소농도 5±0.2%로 규정하고 있다.

본 연구에서는 전양생 8주 후, 온도 20±2℃, 상대습도 60±5%, 탄산가스농도 10±0.2%의 조건으로 촉진중성화 실험을 행하였으며, 시험체 주변의 환경조건을 균일하게 하기 위하여 시험체의 간격을 2cm 이상 간격을 두었다.

2) 실험

본 연구의 실험항목은 표 3과 같으며, 화학성분 정량분석을 위한 열분석은 복합형 열분석 장치(TG/DTA)를 이용하여 승온속도 20℃/min로 행하였다.

표 3. 실험 항목

측정 항목	비고
중성화깊이	1% 페놀프탈레인 시험
수소이온농도(이하, pH)측정	KS F 2103, pH meter
열분석	KS M 0130

3. 실험결과 및 분석

3.1 재생시멘트 치환율에 따른 중성화 깊이

그림 3에서 그림 5는 재생시멘트 모르타의 촉진재령과 재생시멘트 치환율에 따른 중성화 깊이를 나타낸 것이다.

실험결과, 재령 28일 후 재생시멘트 모르터를 할열과괴하여 페놀프탈레인 용액을 분무한 결과 치환율 0%에서 100%의 모든 조건에서 붉게 착색되는 것으로 나타났으며, 육안으로 볼 때 치환율에 따른 착색의 차이를 다소 나타내었다.

그러나, 그림에서 나타난 바와 같이, 재생시멘트는 보통시멘트에 비하여 알칼리성이 크게 약한 것으로 나타났으며, 이에 따라 재생시멘트를 치환함에 따라 중성화 진행속도가 크게 증가하는 것으로 나타났다. 또한, 재생시멘트 모르터의 경우에서도 물시멘트비가 감소함에 따라 재생시멘트 수화물 조직이 치밀해져 상대적인 중성화 저항성능이 우수한 것으로 나타났다.

촉진재령에 따른 재생시멘트의 중성화 저항성능은 먼저, 촉진재령 1주 경과 후, 재생시멘트를 100% 사용한 모르터의 경우 뚜렷한 중성화 진행의 경계는 나타나지 않았으나 전체적으로 착색부의 색이 연해지는 것으로 나타났다.

그리고 촉진재령 2주 경과 후부터 촉진재령이 증가함에 따라 착색부의 경계는 다소 나타나고 있으나, 점차 색이 연해지는 것으로 나타나 이미 pH가 크게 낮은 것으로 판단된다.

그러나, 본 실험에서 사용한 페놀프탈레인법은 pH8.9를 기준으로 중성화 유무를 파악하는 개략적인 방법으로서 재생시멘트 수화물과 같이 알칼리성이 낮은 경우 중성화 저항성능의 정량화에 다소 어려움이 있다. 따라서, 재생시멘트 모르터의 재생시멘트 치환율에 따른 pH측정 결과는 그림 6과 같다.

그림과 같이 재생시멘트를 100% 치환한 모르터의 경우 보통모르터의 pH(12.5 이상)에 비하여 다소 낮은 값(12.0)을 나타내었으나, 철근부식을 방지할 수 있는 안전한 값을 나타내었다. 그러나, 촉진재령이 증가함에 따라 pH는 크게 감소하는 것으로 나타났으며, 촉진재령 4주에 이미 pH가 8.5 정도로서 거의 중성화되는 것으로 나타났다.

따라서, 일반적인 콘크리트의 경우, $pH \geq 12$ 이면 철강이 완전히 부동태역에 있고, $pH \leq 10$ 이면 중성화에 의하여 부동태역에서 활성역으로 변하는 것을 고려한다면, 재생시멘트의 경우 구조용 재료로서의 적용은 어려울 것으로 판단된다.

3.2 재생시멘트 모르터의 열분석

그림 7, 8, 9, 10은 재령 28일 재생시멘트 모르터내 재생시멘트 수화물의 열분석 결과를 나타낸 것이며, 이를 토대로 재생시멘트 수화물 내 $Ca(OH)_2$ 와 $CaCO_3$ 의 량을 정량화한 결과는 그림 11과 같다.

그림과 같이 재생시멘트 치환율이 증가함에 따라 $Ca(OH)_2$ 의 량은 점차 감소하는 것으로 나타났으며, 치환율 100%인 재생시멘트 수화물 내에는 DTA상으로 약한 피크만 나타나 거의 존재하지 않는 것으로 나타났다. 그러나, 모재 페콘크리트의 중성화로 인한 $CaCO_3$ 성분이 재생시멘트 제조시 재수화되지 못한채 재생시멘트 내부에 포함된 것으로 나타나 치환율에 따라 점차 증가하는 것으로 나타났다.

이는 소성온도 650℃의 제조프로세스는 시멘트 수화물 내부 $Ca(OH)_2$ 의 탈수반응은 가능하나, 중성화로 인하여 다량 생성된 $CaCO_3$ 성분의 탈탄산 반응이 일어나지 않았기 때문이며, 또한 재생시멘트 내부에 다량 혼입된 잔골재 미립분의 영향인 것으로 판단된다.

그러나, 재생시멘트의 화학적 특성 및 수화특성이 보통시멘트와 상이한 부분이 있기 때문에 재생시멘트 수화물의 미시구조에 대한 추가적인 연구가 필요할 것으로 보인다.

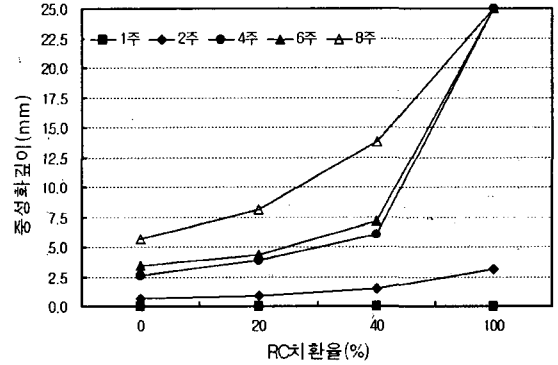


그림 3. 재생시멘트 치환율에 따른 중성화깊이(W/C=50%)

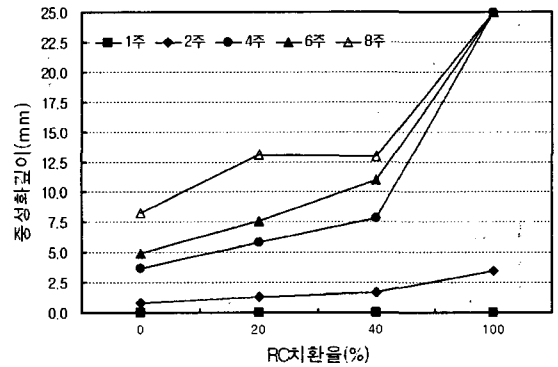


그림 4. 재생시멘트 치환율에 따른 중성화깊이(W/C=60%)

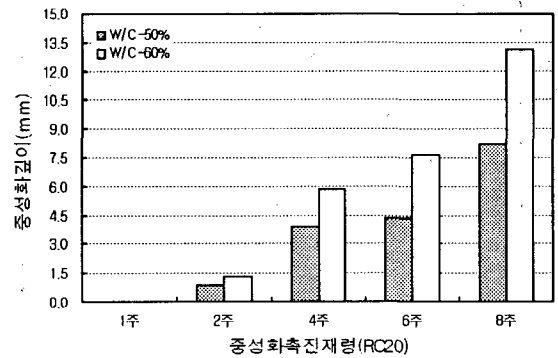


그림 5. 중성화촉진재령에 따른 중성화깊이(RC20)

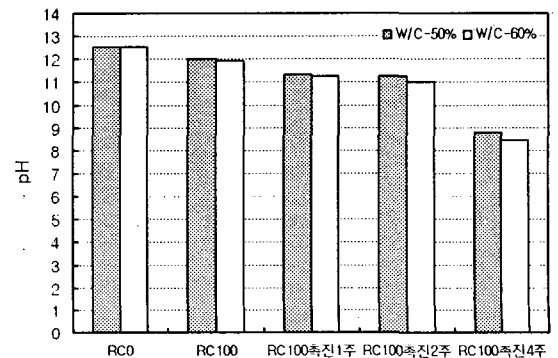


그림 6. 재생시멘트 모르터의 촉진재령에 따른 pH

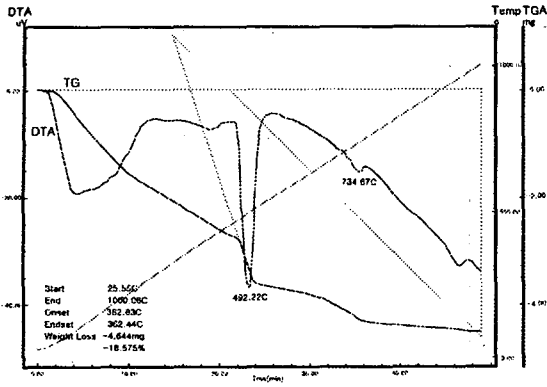


그림 7. RC650-0-60의 열분석

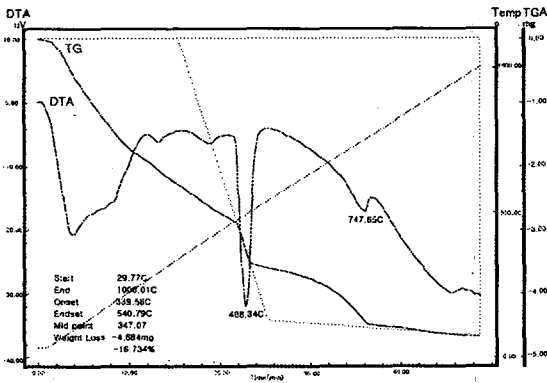


그림 8. RC650-20-60의 열분석

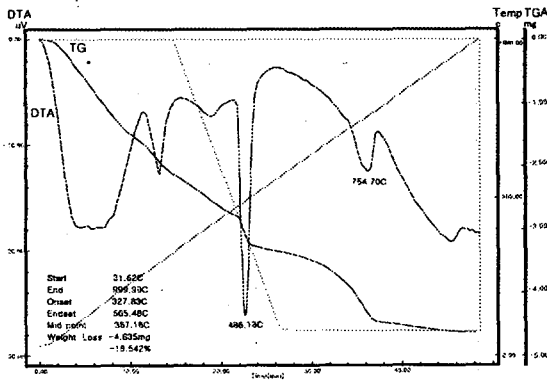


그림 9. RC650-40-60의 열분석

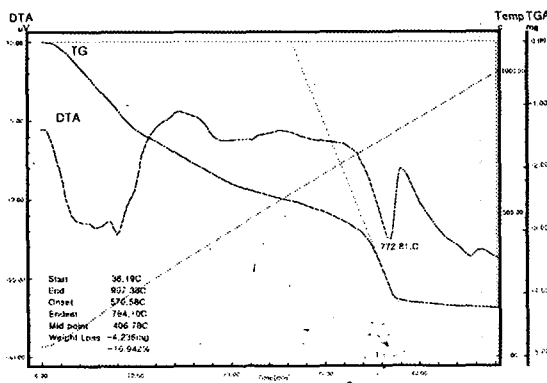


그림 10. RC650-100-60의 열분석

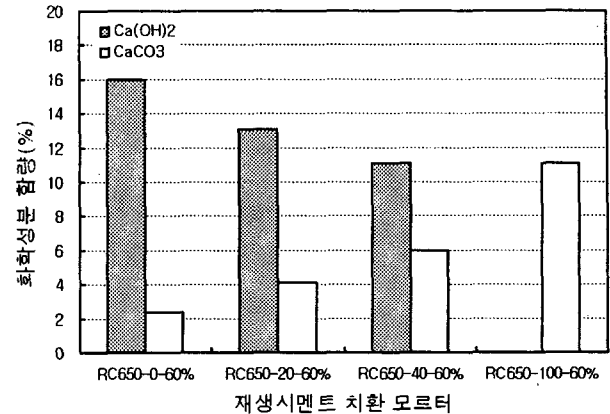


그림 11. 재생시멘트 수화물의 열분석 측정 결과

4. 결 론

본 연구에서는 재생시멘트의 내구성능을 평가하기 위하여 재생시멘트를 치환한 모르타의 중성화 저항성능을 실험을 통해 고찰하였으며, 다음의 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) 재생시멘트는 보통시멘트에 비하여 알칼리성이 크게 약한 것으로 나타났으며, 이에 따라 재생시멘트를 치환함에 따라 중성화 진행속도가 크게 증가하는 것으로 나타났다.
- 2) 재생시멘트 모르타의 경우에서도 물시멘트비가 감소함에 따라 재생시멘트 수화물 조직이 치밀해져 상대적인 중성화 저항성능이 우수한 것으로 나타났다.
- 3) 재생시멘트 모르타의 pH측정 결과, 재령 28일에서는 pH12의 안정된 값을 나타내었으나, 촉진재령이 증가함에 따라 pH는 크게 감소하는 것으로 나타났다.
- 4) 열분석을 통하여 재생시멘트 수화물 내부의 Ca(OH)₂와 CaCO₃의 양을 정량화한 결과, 모재 콘크리트의 중성화 영향으로 Ca(OH)₂는 거의 존재하지 않는 것으로 나타났으나, CaCO₃는 다량 함유된 것으로 나타났다.

이상과 같은 연구결과, 재생시멘트 수화물은 낮은 알칼리성으로 인하여 구조용 재료로서의 적용은 다소 어려운 것으로 나타났다. 향후 재생시멘트의 수화특성과 중성화 저항성능에 관한 추가적인 연구가 이루어져야 할 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

1. 吳相均·安幸徹 外, セメントモルタルの加熱粉砕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
2. 오상균, 폐콘크리트 미분말을 이용한 재생시멘트의 수화성 회복에 관한 연구, 대한건축학회논문집(구조계) 18권 10호, 2002.10. pp.53-60
3. 안재철 외, 폐콘크리트계 미분말의 소성조건에 따른 재생시멘트의 물성, 대한건축학회논문집(구조계) 19권,11호, 2003.11. pp.109-116
4. 안재철, 중성화가 진행된 폐콘크리트계 미분말의 재생시멘트 활용을 위한 수화성 회복, 대한건축학회논문집(구조계) 20권,11호, 2004.11. pp.91-98