

실험계획법을 이용한 석회석 시멘트 콘크리트의 최적배합 선정

Selection of Optimal Mixture of Limestone Cement Paste by Using the Design of Experiment

김 건 우*
Kim, Geon-Woo

김 진 만**
Kim, Jin-Man

최 선 미***
Choi, Sun-Mi

김 범 수****
Kim, Beom Soo

Abstract

In the global trend of countries around the world announcing the declaration of carbon neutrality, the development of low-carbon cement in the cement industry can be seen as a very important issue that can determine the future development of the cement industry in the future. Therefore, this study evaluated the strength characteristics of limestone cement paste with limestone powder of CaCO_3 and refinery desulfurization waste catalyst of high Al_2O_3 content, and using a Minitab mixture design to optimize a limestone cement content. As a results it was confirmed that limestone cement paste with 5-10% of limestone powder and 1.25-2.5% of the waste catalyst exhibits similar compressive strength to that of OPC.

키 워 드 : 석회석 미분말, 석회석 시멘트, 저탄소 시멘트, 폐촉매, 실험계획법

Keywords : limestone powder, limestone cement paste, low-carbon cement, the waste catalyst, design of experiment

1. 서 론

1.1 연구의 목적

최근 유럽을 시작으로 세계 여러 국가가 탄소 중립 선언을 발표했으며, 국내에서도 한국판 그린 뉴딜을 주요 정책으로 삼으면서 탄소 중립 사회로의 전환을 목표로 하고 있다. 이러한 세계적인 흐름 속에서 국내 시멘트 콘크리트 분야에서도 탄소중립 사회로의 전환을 위해 각종 산업에서 배출되는 산업 부산물을 활용하는 등 자원의 재활용을 위한 연구가 활발히 진행되고 있는 추세이다. 특히 시멘트 산업에 대한 환경적으로 부정적인 인식이 있기 때문에 저탄소 시멘트의 개발은 추후 시멘트 산업의 향후 발전을 결정할 수 있는 매우 중요한 사안이라고 볼 수 있다.

석회석 미분말(LimeStone Powder, LSP)은 자체 수경성이 없어 강도 발현에 기여하지 않기 때문에 적극적으로 사용되지 않으나 석회석 미분말을 최적의 혼입량으로 치환할 경우, 블리딩의 저감, 수화열 억제, 강도 발현에 기여하는 것으로 일부 연구에서 보고되고 있다. 국외에서는 석회석 미분말을 함유시킨 석회석 시멘트를 사용하고 있고 이에 대한 규격을 제정하려는 연구도 진행되고 있다. 또한 석회석 미분말은 탈탄산화 반응 및 킬른소성 등의 과정을 거치지 않은 미분말로서 시멘트의 일부를 대체하여 사용함으로써 CO_2 발생량의 감소를 기대할 수 있다. 또한 석회석 미분말과 소량의 Al_2O_3 를 첨가할 경우, 강도 증진에 기여한다는 연구도 보고되고 있다.

이에 본 연구는 석회석 미분말과 산업 부산물이며 Al_2O_3 함량이 높은 정유 탈황 폐촉매를 혼입시켜 혼입량을 변수로한 석회석 시멘트 페이스트의 강도 특성을 평가하였고, 미니랩을 활용한 혼합물 실험계획법을 이용하여 석회석 시멘트 페이스트의 최적배합을 선정하고자 하였다.

2. 실험방법 및 사용재료

본 연구에 사용된 OPC(Ordinary Portland Cement, 보통 포틀랜드 시멘트)는 국내에서 구매 가능한 상용 제품을 사용하였다. 석회석 미분말은 분말도 $6,200 \text{ cm}^2/\text{g}$ 의 제품을 사용하였다. 입상형 폐촉매는 분쇄과정을 거쳐 분말도 $4,500 \text{ cm}^2/\text{g}$ 의 미분말로 사용

* 정회원, 공주대학교, 건축공학과 학부생

** 정회원, 공주대학교, 건축학부 교수, 친환경 콘크리트 연구소 원장, BK21 교수, 교신저자(jmkim@kongju.ac.kr)

*** 정회원, 공주대학교, 친환경 콘크리트 연구소 연구교수, 씨에스엠테크 대표

**** 정회원, 공주대학교, 건축공학과 학부생, 씨에스엠테크 기술연구소 연구원

하였다. OPC대비 석회석 미분말과 폐촉매의 혼입량은 미니탭을 이용하여 3성분계 혼합물 실험계획법에 따라 산출하여 적용하였다. 실험에 사용된 잔골재와 이를 이용한 시험체 제작방법은 KS L ISO 679에 준하여 실험하였다. 실험은 총 2차례에 나눠 진행되었으며 1차는 기건 양생과 수중 양생조건하에 석회석 미분말과 폐촉매의 최대 혼입률을 각각 최대 30%, 10%로 설정하였다. 2차는 촉진양생으로서 증기 양생과 오토클레이브 양생조건하에 석회석 미분말과 폐촉매의 최대 혼입률을 각각 20%, 5%를 최대값으로 설정하여 실험을 진행하였다. 오토클레이브 양생 시험체는 양생 전, 후를 비교하였고, 증기 양생 시험체는 1일이내 증기양생 후 3, 7, 28일까지 기건양생하여 각각의 압축강도 및 길이변화를 측정하였다.

3. 실험 결과

1차 실험에서 기건 양생과 수중 양생의 두 가지 양생 조건 하에서 재령이 증가할수록 압축강도가 지속적으로 증가하여 5~10%대의 적은 혼입률에서는 OPC 단독 시험체와 유사한 강도를 보였지만 모두 혼입률이 증가할수록 강도 증진에 기여하지 않는 것으로 나타나고 있어 양생 조건을 추가하여 2차 실험을 진행하였다. 2차 실험에서 수중 양생과 증기 양생조건하에는 1차 실험과 비슷하게 혼입률이 증가 할수록 강도 증진에 기여하지 않고 최대 혼입률에서 OPC 단독 시험체 대비 최저 60% 수준의 강도를 발현하였다. 오토클레이브 양생에서도 혼입률이 증가할수록 OPC 단독 시험체 대비 압축강도가 떨어지는 양상을 보이긴 하나 OPC 단독 시험체 대비 최저 80% 수준 이상의 압축강도를 발현하였다. 또한 180℃ 조건에서 석회석 미분말 5~10%와 폐촉매 1.25~2.5%를 동시 혼입한 시험체에서 OPC 단독 시험체 대비 95% 수준의 압축강도를 발현하였고, 210℃ 조건에서는 석회석 미분말 5~10%와 폐촉매 1.25~2.5%를 동시 혼입한 시험체에서 OPC 단독 시험체 대비 113% 수준의 압축강도가 발현되었다.

길이 변화는 210℃ 조건의 오토클레이브 양생에서 OPC 단독 시험체가 길이변화율이 218×10^{-6} 임을 보였고 석회석 미분말 10%와 폐촉매 2.5%를 동시 혼입한 시험체에서 길이변화율이 171×10^{-6} 임을 보여 OPC 단독 시험체보다 우수한 체적 안정성을 지닌 것으로 나타났다.

탄소 배출은 2019년 국가 온실가스 인벤토리 보고서¹⁾에 의하면 2017년 시멘트 생산에 따른 CO₂ 배출량은 26,351(천톤 CO₂eq)이고, 석회 생산에 따른 CO₂ 배출량은 3,455(천톤 CO₂eq)이다. 따라서 기존 OPC의 석회석으로 치환할시 치환율 5%당 1144(천톤 CO₂eq) 정도 감소되는 것으로 계산된다.

4. 결 론

실험계획법을 이용한 석회석 시멘트 페이스트의 최적배합 선정을 위한 연구의 결론은 다음과 같다.

- 1) 기건 양생과 수중 양생의 경우, 석회석 미분말과 폐촉매가 혼입되어 있는 시험체는 재령 28일까지 강도 증진에 기여하지 못하는 것으로 나타났다.
- 2) 촉진양생 중, 오토클레이브 양생의 경우에는 석회석 미분말 5~10%, 폐촉매 1.25~2.5%를 혼입하였을 때, OPC 대비 강도 증진에 효과가 있는 것으로 나타났다.

종합적으로 오토클레이브 양생 조건에서 석회석 미분말 5~10%, 폐촉매 1.25~2.5%를 혼입하여 석회석 시멘트 페이스트를 제조하면 OPC와 유사하거나 우수한 압축강도를 발현하는 것을 확인하였고, 또한 기존 OPC를 일부 치환함에 따라 CO₂ 배출량을 감소시킬 수 있는 것을 확인하여 탄소 중립 사회로의 전환에 기여할 수 있는 것으로 판단된다.

Acknowledgement

본 논문은 한국연구재단 이공분야기초연구사업 중 창의도전연구기반지원의 지원(No. 2020R1I1A1A01074492)과 중견연구자 지원사업의 지원(과제번호 2020R1A2C2013161)을 받아 수행한 연구임을 밝히며 이에 감사를 드립니다.

참 고 문 헌

1. 온실가스종합정보센터, 2019년 국가 온실가스 인벤토리(1990~2017) 보고서(NIR), 2020, pp183-196
2. 김진만, 2050 탄소중립 실현을 위한 시멘트 표준 재개정 방향, 2021, pp51-55