설계강도 150 MPa 초고강도 콘크리트용 시멘트 결합재의 개발

Development of Pre-Mix Cement for 150 MPa Ultra High Strength Concrete

황인성* 김성수** 차완호*** 권오봉**** 손유신***** 이승훈******
Hwang, Yin-Seong Kim, Seong-Su Cha, Wan-Ho Kwon, O-Bong Sohn, Yu-Shin Lee, Seung-Hoon

ABSTRACT

This study investigated pre-mixed cement combined with ordinary portland cement, BF and SF, in order to manufacture cement binder, which is possible to produce 150MPa ultra high strength concrete. The BF used in this study reduces and control hydration heat. It can also improve concrete fluidity, while AP increases hydration product and accelerates reaction of BF. SF has micro filler effect and makes pozzolanic reaction. It also fabricates high density internal organization. This developed pre-mixed cement can reduce hydration heat and increase hydration product. It is possible to fabricate high density organization and to secure homogeneity. The mock-up test of ultra high strength concrete showed excellent dispersibility and workability and indicated compressive strength more than 150MPa at 28 days.

1. 서론

최근 국내에서는 100층 이상 초고층 구조물의 건립이 적극적으로 추진되고 있고, 철근콘크리트 구조도 경제성, 사용성, 안정성 등의 이유로 초고층 구조물에 대한 적용이 증가함에 따라 초고강도 콘크리트에 대한 연구가 대형 건설사를 중심으로 일부 진행되고 있다.

콘크리트를 초고강도화 하는 방법은 골재를 선별하여 사용하거나 시멘트 결합재의 강도를 증가시키는 것이 무엇보다 중요한데, 이러한 시멘트 결합재의 강도를 증가시키는 방법에는 고성능감수제 등을 사용하여 W/B를 저감시키는 방법과 실리카퓸, 고로슬래그미분말 등 혼화재를 사용하여 수화물량을 증가시키는 방법으로 크게 나눌 수 있다.

특히, 100MPa 이상의 초고강도 콘크리트에서는 실리카퓸과 같은 고미분말의 혼화재 사용으로 별도의 분산 및 혼합대책이 필요하며, 아직까지 이에 대한 검토는 미흡한 실정이다.

그러므로, 본 연구에서는 설계강도 150MPa 수준의 초고강도 콘크리트용 시멘트 결합재의 개발을 목표로, 사용 원재료 및 구성비율의 검토와 함께 최적의 시멘트 결합재 비율을 결정하고, 이를 프리믹스 시멘트로 제조하여 균질성 및 유동성이 우수하고, 고강도화가 가능한 초고강도 콘크리트용 시멘트 결합재를 개발하고자 한다.

* 정회원, 아세아시멘트(주) 연구개발팀 선임연구원
** 정회원, 아세아시멘트(주) 연구개발팀장
*** 정회원, 아세아시멘트(주) 제천공장 기술연구소 선임연구원
**** 정회원, 아세아시멘트(주) 제천공장 기술연구소 책임연구원
***** 정회원, 삼성물산(주) 건설부문 기술연구소 전임연구원
****** 정회원, 삼성물산(주) 건설부문 기술연구소 수석연구원

2. 실험계획 및 방법

2.1. 실험계획

본 연구의 실험계획은 표 1과 같다.

즉, 시멘트, 고로슬래그미분말(SG), 무수석고(GY) 및 실리카퓸(SF)의 4성분계를 사용한 초고강도콘크리트용 시멘트 결합재(UHPC)를 제조하기 위해 각각의 구성재료의 배합비에 대한 물성을 검토하여 최적의 배합비를 결정하였고, 이를 토대로 배합된 결합재를 혼합방식에 따라 각각의 원재료를 단순혼합하는 방식과 프리믹싱 방식으로 시멘트를 제조한 경우의 입자특성과 수화열, 공극구조 등의 물성을 검토하는 것으로 하였다.

표 1. 실험계획

구성재료의 배합비			실험항목
(SG:GY) 혼합비 (%)	(SG+GY) 첨가비 (%)	SF 첨가비 (%)	
10 : 0 9 : 1 8 : 2 7 : 3	20 25 30	8 12 16	· 압축강도 · 페이스트 플로우
단순혼합 UHPC Premixed UHPC			혼합도 SEM사진
OPC UHPC			수화발열 공극구조

2.2. 사용재료

본 실험에 사용한 시멘트는 국내산 A사 보통 포틀랜드시멘트, 고로슬래그미분말은 국내산 G사, 무수석고는 태국산 S사, 실리카퓸은 체코산 D사 제품을 사용하였고, 잔골재는 표준사를 사용하였으며, 고성능감수제는 일본산 폴리칼본산계를 사용하였다.

2.3. 실험방법

본 연구의 실험방법으로 모르타르의 압축강도는 KS L 5105의 수경성 모르타르의 압축강도 시험방법에 의거 실시하였고, 페이스트 플로우는 W/C 25%, 고성능감수제 1.5%를 혼입한 페이스트를 2분간 혼합하여 100㎖ 용기에 채운 후 들어 올려 퍼진 원의 직경을 측정하였다. 또한, 결합재의 혼합도 시험은 시료 샘플링을 통한 체가름을 통하여 덩어리량을 측정하였고, 결합재의 입자모양은 주사전자현미경으로 관찰하였으며, 수화발열은 Conduction calorimeter, 공극구조는 포로시미터의 수은압입법으로 측정하였다.

3. 실험결과 및 분석

3.1 배합비의 결정

(1) SG:GY의 혼합비

그림 1은 초고강도 콘크리트용 시멘트 결합재 개발을 위한 슬래그석고(SG+GY)의 첨가량 30%, 실리카퓸 12%에서 SG:GY의 혼합비에 따른 압축강도 및 페이스트 플로우를 나타낸 것으로, 실험결과 무수석고의 혼합비가 증가함에 따라서 압축강도는 소폭 증가하여 8:2 배합에서 최대강도로 나타났고, Paste Flow는 거의 변동이 없었다. 따라서, 초고강도 콘크리트용 시멘트 결합재 개발을 위한 SG:GY의 혼합비는 장기강도 발현율의 증가를 고려하여 8:2로 결정하였다.

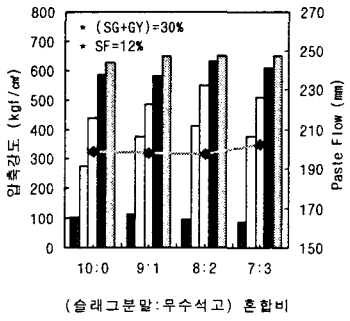


그림 1. SG:GY 혼합비에 따른 압축강도 및 Paste Flow

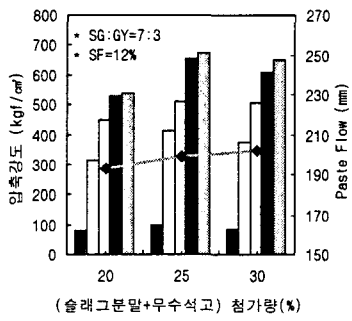


그림 2. 슬래그석고 첨가량에 따른 압축강도 및 Paste Flow

(2) 슬래그석고(SG+GY)의 첨가량

그림 2는 슬래그석고의 첨가량 변화에 따른 압축강도 및 Paste Flow를 나타낸 것이다. 먼저, 압축강

도는 슬래그석고 첨가량 25%에서 가장 크게 나타났고, 30%에서는 소폭 감소하였으며, Paste Flow는 슬래그석고 첨가량 증가에 따라 다소 증가하는 경향으로 나타났다. 따라서, 초고강도콘크리트용 시멘트 결합재 개발을 위한 적정 슬래그석고 첨가량은 Paste Flow의 증가와 함께 압축강도를 고려하여 25%로 결정하였다.

(3) 실리카퓸 첨가량

그림 3은 실리카퓸의 첨가량 변화에 따른 압축강도 및 Paste Flow를 나타낸 것이다. 실리카퓸 첨가에 따른 압축강도는 실리카퓸을 12%로 증가시키는 경우 재령 28일에서 약 18% 증가하고 Paste Flow는 9% 감소하였으나, 실리카퓸을 12%에서 15%로 증가시키는 경우는 압축강도가 6% 증가한 반면, Paste Flow는 약 20%로 크게 감소하였다. 따라서, 초고강도 콘크리트용 시멘트 결합재 개발을 위한 실리카퓸 첨가량은 압축강도 및 유동성 측면을 고려하여 12%로 결정하였다.

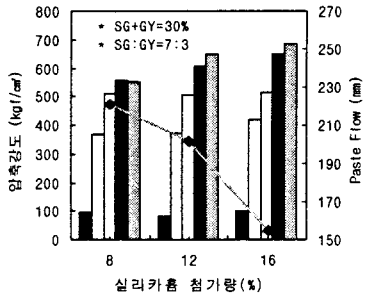


그림 3. 실리카퓸 첨가량에 따른 압축강도 및 Paste Flow

3.2 시멘트 결합재의 제조

초고강도 콘크리트용 시멘트 결합재는 초고강도 발현과 함께 유동성 및 시공성의 확보가 무엇보다 중요하다. 따라서, 레미콘 생산단계에서 시멘트 결합재를 시멘트와 동시에 투입하면 입자의 분산성과 균질성이 확보되지 못하며, 시공성이 크게 저하될 수 있어 100MPa 이상의 초고강도 콘크리트에서는 시멘트 결합재를 프리믹싱하여 사용하는 것이 적절한 것으로 판단된다. 따라서, 본 실험 결과 배합비가 결정된 초고강도 콘크리트용 시멘트 결합재는 고효율의 회전형 믹서(그림 4 참조)를 사용하여 프리믹스 시멘트로 제조하는 것으로 하였다.

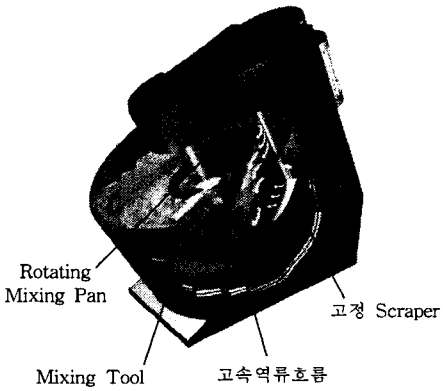


그림 4. 프리믹싱용 회전형 믹서 개요

그림 5는 배합비에 따른 각각의 원재료를 단순혼합한 경우와 회전형 믹서로 프리믹싱한 경우의 덩어리 형성량을 나타낸 것이고, 사진 1은 혼합 후 시멘트 결합재의 SEM 사진을 나타낸 것이다.

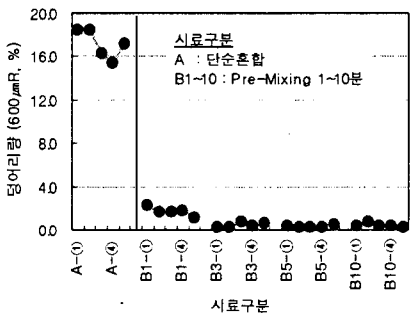
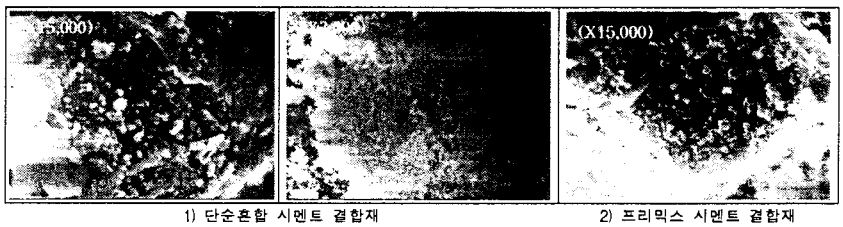


그림 5. 혼합방법에 따른 덩어리량

시멘트 결합재를 단순혼합한 경우는 600㎛ 이상의 덩어리가 고로슬래그, 실리카퓸을 중심으로 많이 발생한 반면 프리믹스한 시멘트는 덩어리가 완전히 제거되어, 시멘트 결합재의 분산효과가 우수한 것으로 나타났다. 또한, 사진 1의 SEM 사진을 통해서 알 수 있듯이 단순혼합한 시멘



1) 단순혼합 시멘트 결합재 2) 프리믹스 시멘트 결합재

사진 1. 혼합 후 시멘트 결합재의 SEM 사진

트 결합재는 실리카퓸이 덩어리를 형성하면서 불균일하게 존재한 반면, 프리믹싱한 시멘트 결합재는 시멘트 입자표면에 구형의 실리카퓸이 부착되고 양호하게 분산되어 혼합 및 분산이 우수한 것으로 나타났다.

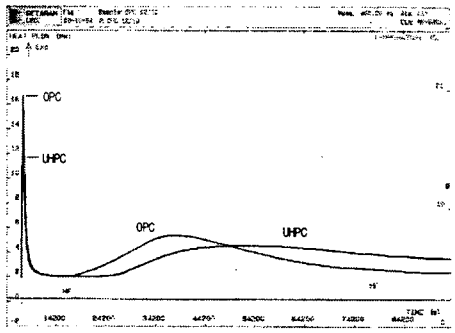


그림 6. UHPC의 수화발열 패턴

3.3 UHPC의 수화열 및 경화특성

그림 6은 프리믹싱한 초고강도 콘크리트용 시멘트 결합재(UHPC)의 수화발열 패턴을 OPC와 비교하여 나타낸 것이다.

UHPC는 OPC와 비교하여 1차 발열피크가 낮고, 2차 발열피크가 지연되며, 최고점이 낮은 것으로 나타나, 전체적으로 응결시간이 지연되고 수화열 발생이 장기간에 걸쳐 서서히 발생하는 특징을 가지고 있음을 알 수 있다.

그림 7은 UHPC와 OPC의 공극구조를 나타낸 것으로, UHPC의 공극구조는 OPC와 비교하여 큰 기공이 감소하고, 작은 공극이 증가하여 실리카퓸이 기공을 세분화함으로써 치밀한 조직을 형성하고 이로인해 압축강도가 증가되는 것으로 분석된다.

이상을 종합하면, 150MPa 수준의 초고강도콘크리트용 시멘트 결합재는 1종 보통포틀랜드시멘트와 고로슬래그미분말, 무수석고, 실리카퓸의 4성분계로 구성되며, 최적 배합비에 의해 고효율 회전형 믹서로 일정시간 프리믹싱하여 제조하였다. 또한, 본 연구결과 개발된 시멘트 결합재는 초고강도 콘크리트 Mock-up 실험결과, 분산성, 유동성 및 시공성이 우수하였고, 재령 28일의 압축강도가 150MPa를 상회하는 것을 확인할 수 있었다.

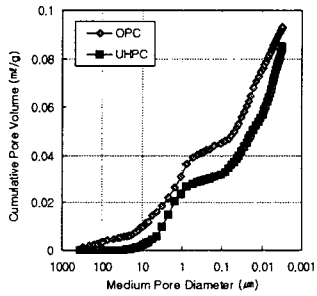


그림 7. UHPC의 공극구조

4. 결론

본 연구에서는 설계강도 150MPa 수준의 초고강도 콘크리트용 시멘트 결합재의 개발을 목표로, 1종 보통포틀랜드시멘트와 고로슬래그미분말, 무수석고, 실리카퓸의 배합비의 검토와 혼합방법에 따른 균질성 등을 검토한 것으로, 그 실험결과를 요약하면 다음과 같다.

1) 초고강도 콘크리트용 시멘트 결합재는 시멘트에 대하여 슬래그석고 25%, 실리카퓸 12%로 첨가하는 것이 압축강도 및 유동성 측면에서 유리한 것으로 나타나, 최적의 배합비로 결정하였다.

2) 초고강도 콘크리트용 시멘트 결합재는 결정된 최적 배합을 회전형 믹서로 프리믹싱하여 개발이 가능하였고, 개발된 프리믹스 시멘트 결합재는 화학적으로 초기 수화발열을 저감하고 수화 생성물 증대와 공극의 감소를 통해 치밀한 조직을 형성하며, 물리적으로는 프리믹싱에 의해 균질성을 확보할 수 있었다.

3) 개발된 초고강도 콘크리트용 시멘트 결합재는 Mock-up 실험결과 분산성, 유동성 및 시공성이 우수하였고, 재령 28일의 압축강도가 150MPa를 상회하는 것으로 나타났다.

참고문헌

1. 小室努 外 ; 150N/㎟級の超高强度コンクリートを用いたRC柱の實用化硏究, コンクリート工學 Vol. 39, No. 10, 2001. 10
2. 黑岩秀介 外 ; 設計基準强度130N/㎟の超高强度コンクリートの施工について, コンクリートテクノ, Vol. 23, No. 6, 2004. 6
3. 한국콘크리트학회 ; 고강도콘크리트 제조/설계/시공 기술, 2002