저열 시멘트 HVFAC 강도 발현 특성

The Characteristics of Strength Development on Concrete with Low Heat Cement and High Volume Fly-Ash

박 찬 규* 이 승 훈* 김 한 준** 김 상 준*** 이 태 왕****
Park, Chan Kyu Lee, Seung Hoon Kim, Han Jun Kim, Sang Jun Lee, Tae Wang

ABSTRACT

In this study, the characteristics of strength development on high volume fly ash concrete(HVFAC)with Type 4 cement was experimentally investigated. Three levels of W/B were selected. Four levels of fly ash replacement ratios and two levels of silica fume replacement ratios were adopted. In the concrete mix, the water content of 125kg/m^3 was used, which is less than that of usual water content. As a result, it appeared that the compressive strength gradually decreased with increasing fly ash replacement ratio until 91days. However, regarding the compressive strength, the proper replacement ratio is about 20%, which is low compared to Type I cement case. It was observed that the tensile strength is proportional to the 0.72 power of the compressive strength. It appears that the prediction equation presented in Concrete Standard Specification overestimate the tensile strength in the low strength range, underestimate the tensile strength in the hi호 strength range.

요 약

본 연구에서는 플라이애쉬가 다량 치환된 콘크리트 강도 발현과 수화열 특성에 대하여 연구를 수행하였다. 3수준의 W/B와 4수준의 플라이애쉬 치환률 및 2수준의 실리카흄 치환율을 실험 변수로 선택하였다. 콘크리트 배합에서 단위수량은 125kg/m^3으로 고정하였다. 결과로서 초기 재령에서는 플라이애쉬 치환율이 증가하면서 재령 91일까지 압축강도가 점진적으로 감소하는 경향을 나타내었다. 그런데 강도를 고려하면, 적절한 플라이애쉬 치환율은 20%인 것으로 나타났는데, 이는 제 1종 시멘트의 경우에 비하여 낮은 값이다. 콘크리트의 인장강도는 압축강도의 0.72승에 비례하는 것으로 나타났다. 그리고 콘크리트 표준 시방서에 제시되어 있는 인장 강도 식은 압축강도가 낮은 경우에 과대평가하고, 압축강도가 높은 경우에 과소평가하는 것으로 나타났다.

* 정회원, 삼성물산(주) 건설부문 기술연구소 수석연구원
** 정회원, 삼성물산(주) 건설부문 기술연구소 전임연구원
*** 정회원, 삼성물산(주) 건설부문 기술연구소 주임
**** 정회원, 삼성물산(주) 건설부문 기술연구소 사원

1. 서론

현재 대부분의 건설현장에서 사용되는 콘크리트는 제 1종 보통 포틀랜드 시멘트를 사용하고 있다. 포틀랜드 시멘트는 제조 과정에서 대기 중에 많은 양의 이산화탄소를 배출하며, 시멘트 1톤을 생산할 때 약 870kg의 이산화탄소가 배출된다. 전 세계적으로 시멘트의 제조량은 해마다 3%씩 증가하고 있으며, 대기 중에 배출되는 전 세계 온실 가스 배출량(이산화탄소 80%)의 약 7%를 차지하고 있다.

지난 1992년 브라질 리우데자네이루에서 열린 유엔환경개발회의에서 154개국이 기후변화협약을 체결하였다. 이를 구체화하기 위하여1997년 일본 쿄토에서 선진 38개국이 "쿄토의정서"를 채택하였다. 의정서에 서명한 36개국은2008년부터 2012년까지 이산화탄소 배출량을 의무적으로 줄여야 한다. 우리나라는 의정서 체결 당시 개발도상국으로 분류돼 이산화탄소 할당량을 부여받지 않았지만, 2004년 기준으로 5.9억톤을 배출하는 것으로 나타났고 이는 세계 열 번째인 것으로 나타났다. 그 결과 우리나라도 2013년부터 의무감축국에 포함될 가능성이 매우 높은 것으로 나타났다. 이와 같은 환경 변화는 건설 환경에도 큰 영향을 미치게 될 것이며, 이산화탄소 배출량이 적은 건설재료 및 공법의 개발이 필요하다고 판단된다.

이에 대한 노력으로 국내·외에서는 산업부산물인 플라이애쉬를 이용하여 이산화탄소 배출량이 적은 콘크리트를 생산하는 방안에 대하여 연구[1)~5)]를 수행해오고 있다. 특히 일반적으로 사용되는 플라이애쉬 치환율 25% 이하보다 2배 정도로 치환율이 높은 HVFAC(High Volume Fly-Ash Concrete)가 장래에 큰 각광을 받을 것으로 판단된다[2)]. 이에 본 연구에서는 플라이애쉬가 다량 치환된 콘크리트의 압축강도 및 인장강도 발현 특성에 대하여 연구를 수행하였다.

2. 실험계획 및 내용

표 1은 실험계획을 나타낸 것이다. 표 1에 나타낸 바와 같이 물-결합재비는 3수준을 선택하였고, 실리카흄의 치환량은 총결합재 대비 0, 5% 치환하는 것으로 하였다. 그리고 플라이애쉬 치환량은 총 4수준을 선택하였다.

본 실험에 사용된 재료의 물리·화학적 성질은 표 2에 나타낸 바와 같다. 표 2에서 알 수 있는 바와 같이 제4종 저열 시멘트 비중은 3.21g/cm^{3}이고 분말도는 3,401cm^2/g이다. 사용된 플라이애쉬는 삼천포산이며, 그 특성으로서는 비중이 2.42g/cm^{3}이고, 분말도는 2,653cm^2/g, 그리고 강열감량은 4.4%이다. 그리고 사용된 실리카흄은 SiO_2가 91.7%, 비중 2.1, 분말도가 224,000cm^2/g이다.

잔골재는 세척사, 굵은 골재는 최대골재크기 25mm의 쇄석, 그리고 고성능 감수제는 폴리카르본산계(고형분 20%)를 사용하였다.

콘크리트 배합에 있어서, 단위수량은 125kg/m^{3}으로 고정하였으며, W/B 26.6%인 경우 잔골재율은 40%, W/B 29.8%인 경우에는 42.5% 그리고 W/B 33.8%인 경우에는 45%를 사용하였다. 이 때 W/B가 26.6%인 경우에는 단위결합재량이 470kg/m^3, W/B가 29.8%인 경우에는 420kg/m^3,

콘크리트의 압축강도 및 인장강도를 측정하기 위하여 ϕ 100×200mm 공시체를 제작하여 23℃에서 수중양생을

표 1 실험변수

W/B(%)	FA 치환율(%)	실리카흄 치환율(%)	측정항목
26.6	0, 20, 40, 60,	0, 5	슬럼프 (슬럼프플로우) 공기량 압축강도 인장강도
29.8			
33.8			

표 2 사용재료의 화학적 성분과 물리적 성질

구분	제4종 시멘트	플라이애쉬	실리카흄
SiO_2	21.1	50.8	91.7
Fe_2O_3	3.0	6.2	1.02
AL_2O_3	2.5	18.3	0.48
TiO_2	-	0.47	-
CaO	61.5	8.1	0.59
MgO	1.9	2.2	0.50
K_2O	0.4	1.6	1.17
Na_2O	0.01	1.1	0.26
SO_3	1.9	0.8	0.35
강열감량(%)	1.9	4.4	3.58
분말도[브레인] (cm^2/g)	3,401	2,653	224,000 (BET)
비중(g/cm^3)	3.21	2.42	2.1
45㎛체잔분(%)	-	25	2.64

실시하였다. 그리고 재령 3, 7, 28, 56, 및 91일에 압축강도 및 인장강도 실험을 실시하였다.

3. 실험결과 및 분석

그림 1은 각 결합재량에 대하여 플라이애쉬 치환율에 따른 압축강도를 재령별로 나타낸 것이다. 그림에서 알 수 있는 바와 같이 재령 3일에서는 플라이애쉬 치환율이 증가할수록 압축강도가 선형적으로 감소하는 것으로 나타났다. 그리고 재령 91일에서도 플라이애쉬 치환율이 증가할수록 점진적으로 강도가 감소하는 것으로 나타났다. 그러나 플라이애쉬를 20% 치환한 경우에는 플라이애쉬를 치환하지 않은 경우에 비하여 크게 강도가 떨어지지 않는 것으로 나타났다. 예외적으로 결합재량 370kg/m^{3}에서 실리카흄을 사용하지 않은 경우에는 강도 감소폭이 크게 나타났다.

기존 실험결과[5)]에 따르면, 제 1종 시멘트를 사용한 경우 플라이애쉬를 50% 치환하여도 재령 91일에 강도가 크게 떨어지지 않은 것으로 나타났다. 이는 동일한 결합재량에서 각 시멘트에서 발생하는 수산화칼슘의 양이 다르기 때문인 것으로 판단된다. 그 결과 강도 적인 측면에서 제 4종 저열 시멘트의 경우에 플라이애쉬 치환 효율은 제 1종 시멘트에 비하여 떨어지는 것으로 나탔으며, 적정 치환율은 20%인 것으로 판단된다. 그리고 실리카흄 치환율에 따른 압축강도 발현 경향을 살펴보면, 5% 정도로 치환된 경우에 압축강도는 큰 영향을 받지 않는 것으로 나타났다.

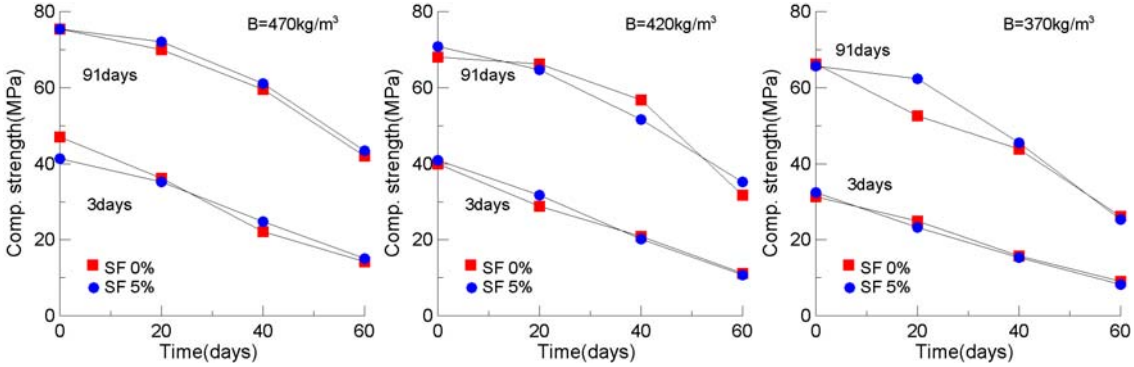
그림 2는 단위 결합재량에 따른 압축강도와 인장강도와의 관계를 나타낸 것이다. 그림에서 알 수 있는 바와 같이 실리카흄 치환량에 따른 압축강도와 인장강도와의 관계는 큰 차이가 없는 것으로 나타났다. 그리고 그림으로 나타내지 않았지만, 플라이애쉬 치환율 0, 60% 인 경우에 압축강도와 인장강도와 관계를 확인해보면, 플라이쉬 치환량에 따른 차이는 나타나지 않았다.

그리고 실험결과와 콘크리트 표준시방서의 예측식과 비교한 결과 예측 식은 낮은 압축강도 영역에서는 인장강도를 약간 과대평가하는 것으로 나타났고, 압축강도가 높아질수록 과소평가하는 것으로 나타났다. 콘크리트 표준 시방서의 식은 매스콘크리트의 인장강도 예측에 사용되는데, 그 결과 매스콘크리트의 초기재령 압축강도는 근사적으로 잘 예측하지만, 장기재령에 대한 인장강도는 과소평가한다고 볼 수 있다. 이에 본 연구의 실험 결과를 바탕으로 인장강도 예측 식을 제안하였으며, 인장강도는 압축강도의 0.72승에 비례하는 것으로 나타났고 모델식의 비교는 그림 2 (c)에 나타낸 바와 같다. 그리고 기존의 연구결과[5)]에 따른 제 1종 시멘트를 사용한 경우에 있어서 인장강도는 압축강도의 0.75승에 비례하는 것으로 나타났다. 그 결과, 제 1종 시멘트와 제 4종 시멘트를 사용한 HVFAC 콘크리트의 압축강도와 인장강도와 관계는 차이가 없는 것으로 나타났다.

4. 결 론

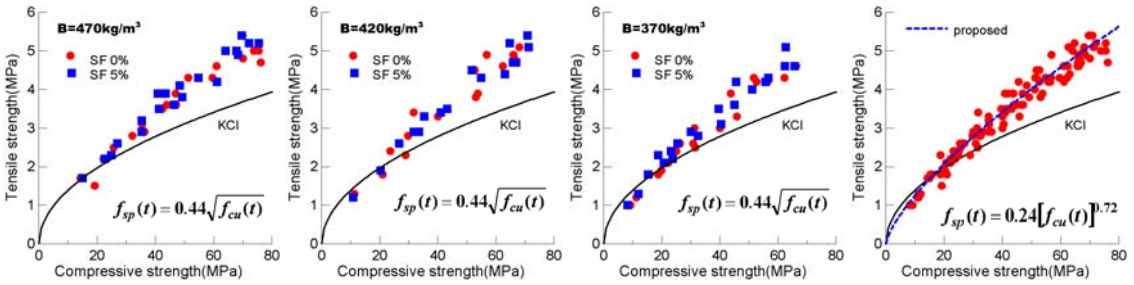
본 연구에서는 제 4종 시멘트를 사용한 경우에 있어서, 플라이애쉬가 다량 치환된 콘크리트에 대하여 여러 가지 특성을 파악하였다. 이에 대한 결론은 다음과 같다.

1) 91일까지의 압축강도 측정결과, 플라이애쉬 20%까지 치환할 경우 플라이애쉬를 치환하지 않은 경우와 비슷한 강도가 발현되는 것으로 나타났다. 강도 측면에서 플라이애쉬 치환효율은 제 1종 보통 시멘트에 비하여 떨어지는 것으로 나타났다.
2) 실리카흄을 5% 치환한 경우에 크게 강도 발현에 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다.
3) 콘크리트 표준 시방서에 제시되어 있는 인장강도 예측 식은 낮은 강도에서는 약간 과대 평가하는 것으로 나타났지만, 압축강도가 높아질수록 크게 과소평가하는 것으로 나타났다.
4) 콘크리트의 인장강도는 압축강도의 0.72승에 비례하는 것으로 나타났으며, 기존의 제 1종 시멘트를 사용한 경우에는 0.75승으로서, 시멘트 종류에 따른 차이는 나타나지 않았다.



(a) 결합재량 470kg/m^3 (b) 결합재량 420kg/m^3 (c) 결합재량 370kg/m^3

그림 1 재령과 플라이애쉬 치환량에 따른 압축강도



(a) 결합재량 470kg/m^3 (b) 결합재량 420kg/m^3 (b) 결합재량 370kg/m^3 (c) 모델식과의 비교

그림 2 압축강도와 인장강도와의 관계

참고문헌

1. V. M. Malhotra, “High-Performance High-Volume Fly Ash concrete,” Concrete International, July, 2002, pp. 30-34.
2. V. Sivasundaram, G. G. Carette, and V. M. Malhotra, “Selected Properties of High-Volume Fly Ash Concrete,” Concrete International, October, 1990, pp. 47-49.
3. 이동하 외 5인, “플라이애쉬를 대량 사용한 고강도 콘크리트에 관한 연구,” 한국콘크리트학회, 가을학술발표회 논문집, 2002, pp. 275-280.
4. 원종필, 신유길, 안태송, “다량의 플라이애쉬를 사용한 유동성 시멘트 복합체의 특성,” 한국콘크리트학회, 가을학술발표회 논문집, 1998, pp. 105-110.
5. 박찬규 외 4인 “플라이애쉬 치환율이 높은 콘크리트의 강도 발현 및 수화열 특성,” 한국콘크리트학회, 봄학술발표회 논문집, 2008, pp. 417-420.