

초고강도 강섬유보강 콘크리트의 수축특성

Shrinkage Properties of Ultra High Strength Steel Fiber Reinforced Concrete

고경택*

裴長春**

이건철***

강수태****

김성욱*****

한천구*****

Koh, Kyoung Taek Pei, Chang Chun Lee, Gun Cheol Kang, Soo Tae Kim, Sung Wook Han, Cheon Goo

ABSTRACT

This paper is to investigate the shrinkage properties of ultra high strength concrete(UHSC) incorporating 5% of expansive additives(EA) along with 1% of shrinkage reducing agent(SRA). UHSC subjected to steam curing and incorporated with steel fiber exhibited higher compressive strength than control UHSC by as much as 50MPa at 7days, while at 28days, noticeable change in compressive strength was not observed between UHSC mixtures. Control UHSC subjected to steam curing had a 922×10^{-6} of autogenous shrinkage strain value, which was 6.7 times of drying shrinkage strain value at 42 days. The combination of EA and SRA resulted in a decrease in autogenous shrinkage by as much as half of control mixture. Steam curing contributed to the reduction of autogenous shrinkage by as much as 11% compared with that of standard curing.

1. 서론

최근 국내의 고성능콘크리트 연구자들은 다양한 초고강도 섬유보강 콘크리트의 개발에 주목하고 있다. 국내에서도 저자들이 압축강도 180MPa 이상을 확보할 수 있는 초고강도 강섬유 보강 콘크리트의 배합을 제시한 바 있다. 이 콘크리트는 시멘트계 재료를 섬유로 보강한 복합체로서 종래의 섬유보강 콘크리트의 성능을 발전시켜 진일보된 재료로서 향후 다양한 구조부재에 활용이 기대된다. 그러나 초강도 강섬유 보강 콘크리트는 물-결합재비가 0.2 정도로 작고, 단위결합재량이 많을 뿐만 아니라 초기재령에서 90℃ 증기양생을 실시하므로 수화 진행속도가 빨라 자기수축이 매우 크게 발생할 것으로 예상되나, 이에 대한 연구가 부족한 실정에 있다.

따라서 본 연구에서는 강섬유 보강 콘크리트의 수축특성 평가 및 팽창제와 수축저감제의 사용이 수축특성에 미치는 영향을 평가하여 최종적으로 초고강도 강섬유보강 콘크리트의 수축저감기술을 구축하고자 한다.

2. 실험계획 및 방법

*정회원, 한국건설기술연구원 구조연구부 선임연구원

**정회원, 청주대학교 대학원 석사과정

***정회원, 청주대학교 산업과학연구소 전임연구원

****정회원, 한국건설기술연구원 구조연구부 연구원

*****정회원, 한국건설기술연구원 구조연구부 수석연구원

*****정회원, 청주대학교 건축공학부 교수

2.1. 실험계획

본 연구의 실험계획은 표 1과 같다. 즉, W/B 0.21 1수준에 대하여, 먼저 증기양생인 경우, 시멘트에 대한 질량비로 실리카 흙을 25% 첨가한 플레인 콘크리트와 플레인 콘크리트에 강섬유를 2% 혼입한 것을 기준배합콘크리트로, 기준배합콘크리트에 팽창재 5%, 수축저감제 1%, 팽창재 5%와 수축저감제 1%를 동시에 혼입하는 5수준으로 실험계획 하였고, 또한, 기준배합에 한해서만 20±3℃수증에서 표준양생을 하여 총 6배치를 실험계획 하였다. 이때 모든 콘크리트는 목표 슬럼프 플로우 600±100mm, 목표공기량은 4.5±1.5%를 만족하도록 배합설계 하였다.

표 1. 실험계획

구분	양생 방법	실험수준	W/B (%)	목표 플로우 (mm)	목표 공기량 (%)
Plain	증기	플레인(시멘트복합체)	21	600±100	4.5±1.5
F ₂		기준배합(강섬유 2%)			
F ₂ E ₅		EA 5%			
F ₂ S ₁		SRA 1%			
F ₂ E ₅ S ₁		EA 5%+SRA 1%			
F ₂ '	표준	기준배합	21	600±100	4.5±1.5

2.2. 사용재료

본 연구의 사용재료로서, 시멘트는 국내산 A사의 보통 포틀랜드시멘트(밀도:3.15g/cm³, 분말도: 3,244cm²/g)를 사용하였고, 골재는 0.5mm 이하의 석영사(밀도:2.65g/cm³), 강섬유는 길이 13mm, 직경 0.2mm인 것을 사용하였다. 혼화제로서 실리카흙은 노르웨이산 (밀도: 2.20g/cm³, 분말도: 200,000cm²/g) 및 팽창재는 CSA계(밀도: 2.98g/cm³, 분말도: 3.117cm²/g), 충전재는 입자크기가 10 μ m인 것을 사용하였다. 또한, 혼화제로서 수축저감제는 글루콜계(밀도: 1.02 g/cm³), 고성능감수제는 폴리카본산계(밀도: 1.02g/cm³, 고형성분 30%)를 사용하였다.

2.3. 실험방법

굳지 않은 콘크리트의 실험으로 슬럼프플로우시험은 KS F 2594, 공기량은 KS F 2421, 단위용적질량은 KS F 2409, 응결시간은 KS F 2436의 프록터 판입저항 시험방법에 의거 실시하였다.

경화 콘크리트의 실험으로 압축강도는 \varnothing 10×20cm 공시체를 KS F 2403 규정에 의거 제작하여 계획된 재령에서 KS F 2405 규정에 의거 측정하였고, 건조수축의 길이변화는 KS F 2424 규정에 의거 측정하였으며, 자기수축은 일본콘크리트공학협회에서 제안한 방법으로 하였다.

3. 실험결과 및 분석

3.1. 압축강도

그림 1은 각 시험변수별 재령경과에 따른 압축강도를 나타낸 것이다. 먼저, 증기양생인 경우 전반적으로, 압축강도는 초기재령에서 급속한 상승경향을 나타냈고, 그 이후에는 비교적 완만한 경향을 나타내었다. 이는 90℃고온양생으로 시멘트의 수화반응 및 실리카흙의 포졸란 반응이 활성화되어 시멘트 경화체의 조직을 치밀하게 만들기 때문으로 판단된다. 또한, 강섬유를 혼입한 F₂, F₂E₅, F₂S₁, F₂E₅S₁은 초기강도증진이 거의 동등한 경향으로 나타났고, 재령 7일에서 공히 Plain에 비해 초기강도 증진이 약 50MPa정도 크게 나타났다. 재령 28

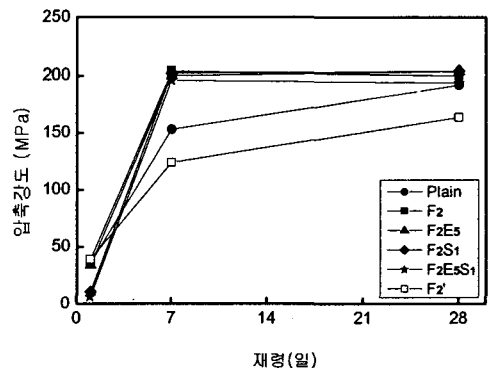


그림 1 각 실험변수별 재령경과에 따른 압축강도

일에서는 플레인 및 강섬유를 혼입한 F_2 , F_2E_5 , F_2S_1 , $F_2E_5S_1$ 은 모두 유사한 경향으로 나타났다.

또한, 양생방법별로, F_2 , F_2' 를 비교하면 초기양생온도가 높을수록 강도증진이 크게 일어났는데, F_2 는 F_2' 에 비하여 재령 7일과 28일에서 강도가 각각 약 64%, 22%정도 증진되는 것으로 나타났다.

3.2 자기수축

그림 2, 3은 각각 매립형게이지법과 다이얼게이지법으로 측정된 각 실험변수별 재령경과에 따른 자기수축 길이변화율을 나타낸 것이다. 먼저, 증기양생인 경우 재령 42일에서 Plain의 자기수축은 922×10^{-6} 으로써 동일 재령에서의 건조수축의 약 6.73배로 매우 큰 값을 차지하였다. 자기수축은 팽창재 및 수축저감제를 혼입에 따라서 현저하게 감소하였는데, 팽창재 5% 혼입할 경우 40%정도 저감하는 것으로 나타나고 수축저감재 1% 혼입할 경우 23% 저감하는 것으로 나타났다. 또한, 팽창재 및 수축저감제를 동시에 병용한 경우 저감효과는 더욱 크게 나타났는데, 재령 42일에서 50% 저감하는 것으로 나타나 우수한 수축저감효과를 확인할 수 있었다. 따라서, 초고강도 콘크리트제조에서 팽창재 5% 및 수축저감재 1%의 경우가 유동성, 강도 등에 영향을 미치지 않으면서 수축저감효과가 양호한 것으로 분석된다.

또, 양생방법별 F_2 , F_2' 를 비교하면, F_2 는 초기양생온도가 높을수록 자기수축이 급속한 경향을 보였고, 그 이후 표준양생기간에는 둔화되는 것을 알 수 있었으며, F_2' 의 경우는 F_2 에 비해 비교적 완만한 경향으로 나타났다. 궁극적으로, 재령 42일에서 자기수축량을 비교하면, F_2 는 F_2' 에 비하여 약 11%정도 저감되는 것으로 나타났다.

그림 4는 다이얼게이지법과 매립형게이지법으로 측정된 자기수축 길이변화율의 상관관계를 나타낸 것이다. 측정방법에 따른 자기수축은 배합비에 관계없이 상관계수 0.983정도로 매우 양호하게 나타나, 사실상 큰 차이는 없을 것으로 사료된다.

3.2.3 건조수축

그림 5는 각 실험변수별 재령경과에 따른 건조수축 길이변화율을 나타낸 것이다. 먼저 증기양생인 경우 전반적으로, 증기양생 끝난 시점부터 기중양생기간에서 건조에 의한 수축이 발생하였는데, 초기재령에서 약간 급격한 건조수축이 일어나고, 재령이 경과함에 따라 보다 완만한 경향으로 나타났다. 재령 35일에서

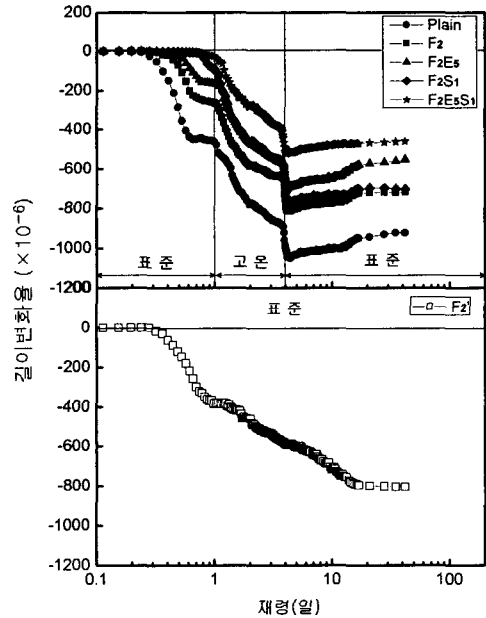


그림 2 재령경과에 따른 자기수축 변화율 (매립형게이지법)

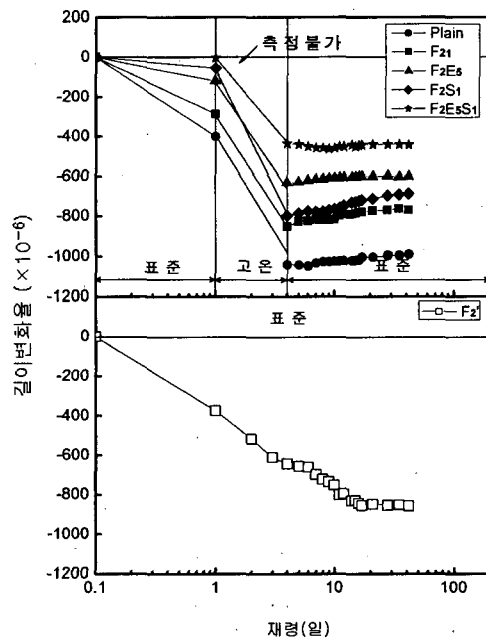


그림 3 재령경과에 따른 자기수축 변화율 (다이얼게이지법)

Plain의 건조수축은 약 140×10^{-6} 정도로 나타났고, 강섬유 2%를 혼입한 F₂는 약 90×10^{-6} 정도로 나타났다. F₂E₅, F₂S₁은 에tring자이트에 의한 수축보상작용 또는 공극내 수축응력 저감의 이중효과로 말미암아 F₂에 비해 건조수축이 감소되었고, 팽창재 및 수축저감제를 동시에 병용한 F₂E₅S₁는 건조수축이 가장 적게 나타났다. 또한, 양생방법별, F₂, F₂'을 비교하면, 재령 42일에서의 수축량은 큰 차이가 없는 것으로 나타났다.

궁극적으로, 콘크리트의 건조수축량은 140×10^{-6} 이하로 전체 수축변형량에는 큰 영향을 미치지 않는 것으로 판단된다.

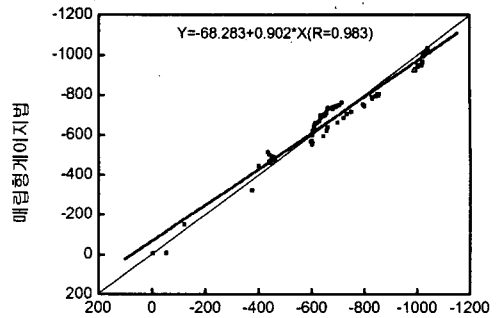
4. 결론

본 연구는 초고강도 섬유보강 콘크리트의 수축저감을 목적으로 팽창재 5%와 수축저감제 1%를 혼입하고, 증기 및 표준양생하는 경우의 강도 및 수축특성에 대하여 검토한 것으로서, 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) 압축강도특성으로, 증기양생을 실시하고 강섬유를 혼입한 초기재령 7일에서 공히 Plain에 비해 강도 증진이 약 50MPa정도 크게 나타났고, 재령 28일에서는 모두 유사한 경향으로 나타났다. 또한, 양생방법별로, 증기양생은 표준양생에 비하여 재령 7일과 28일에서 압축강도가 각각 약 64%, 22%정도 증진되는 것으로 나타났다.
- 2) 자기수축특성으로, 먼저, 증기양생인 경우 재령 42일에서 Plain의 자기수축은 922×10^{-6} 으로써 동일 재령에서의 건조수축의 약 6.73배만큼 매우 크게 나타났다. 자기수축은 팽창재 5% 혼입할 경우 40%, 수축저감제 1% 혼입할 경우 23%, 팽창재 및 수축저감제를 동시에 병용한 경우 50% 저감하는 것으로 나타났다. 또한, 양생방법별 재령 42일에서 자기수축량을 비교하면, 증기양생이 표준양생에 비하여 약 11%정도 저감되는 것으로 나타났다. 측정방법에 따른 자기수축은 배합비에 관계 없이 상관계수 0.986 정도로 매우 양호하게 나타나, 사실상 큰 차이는 없을 것으로 사료된다.
- 3) 건조수축의 경우, 재령 42일에서 140×10^{-6} 이하로 나타나 전체 수축변형량에는 큰 영향을 미치지 않는 것으로 판단된다.

참고문헌

1. 日本コンクリート工學協會; 自己收縮研究委員會報告書, 1996
2. 한국건설기술연구원; 콘크리트 교량의 내구성 향상 기술 개발에 관한 연구보고서, 2004



다이얼게이지법

그림 4 다이얼게이지법과 매립형게이지법의 측정치간의 관계

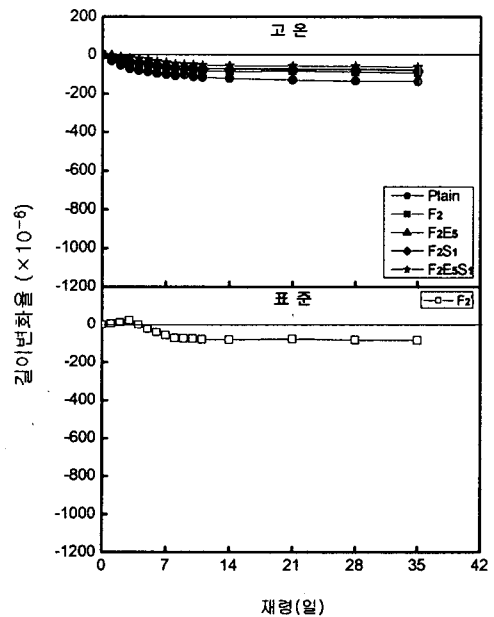


그림 5 재령경과에 따른 건조수축 변화율