

고성능 콘크리트의 수축 저감 기술

Technology on the Shrinkage Reduction of High Performance Concrete

고 경 택* 류 금 성** 강 수 태** 박 정 준** 김 성 욱*** 한 천 구****
Koh, Kyung Taek Ryu, Gum Sung, Kang, Su Tae Park, Jung Jun Kim, Sung Wook Han, Cheon Goo

ABSTRACT

Recently, active researches are conducted on high performance concrete(HPC) exhibiting high strength and high fluidity. These researches are resulting in increased applications on real structures. In order to satisfy the required performances, HPC makes use of large quantities of binder and presents low water-cementitious material ratio. Such mixing is increasing significantly the autogenous shrinkage, which subsequently is likely to favor the potential development of cracks. Therefore, we investigated the effect of used materials and mix proportions on the shrinkage properties of HPC, and of the use of expansive additives and shrinkage reducing agents on the HPC. The autogenous shrinkage of HPC using blast furnace slag are tend to be increased, in some case have the potential development of cracks by only the autogenous shrinkage. Also the using method in combination with expansive additive and shrinkage reducing agent is more effective than the separately using method of that.

요 약

최근 고강도 콘크리트 및 자기충진 콘크리트와 같은 고성능 콘크리트가 적용되는 사례가 증가하는 추세에 있다. 이런 고성능 콘크리트의 요구 성능을 만족시키기 위해서는 필연적으로 물-결합재비를 작게 하고, 단위 결합재량을 다량으로 사용해야 한다. 그러나 고성능 콘크리트는 시멘트 수화반응에 관계된 자기수축이 크게 증가되어 경우에 따라서는 자기수축만으로도 균열이 발생할 수 있다. 본 논문에서는 사용재료와 배합이 고성능 콘크리트의 수축특성에 미치는 영향, 팽창제와 수축저감제의 사용에 의한 고성능 콘크리트의 수축저감 기술을 소개하였다. 고로슬래그를 사용한 고성능 콘크리트는 자기수축이 크게 증가되어 경우에 따라서 자기수축만으로도 균열이 발생할 수 있는 것으로 분석되었다. 그리고 팽창제와 수축저감제를 조합하여 사용한 경우는 각각 단독으로 사용하는 경우보다 수축저감 효과가 큰 것으로 확인되었다.

* 정회원, 한국건설기술연구원 구조재료연구실 책임연구원
** 정회원, 한국건설기술연구원 구조재료연구실 연구원
*** 정회원, 한국건설기술연구원 구조재료연구실 책임연구원, 실장
**** 정회원, 청주대학교 건축공학과 교수

1. 서 론

최근 고강도 콘크리트 및 자기충전 콘크리트와 같은 고성능 콘크리트가 적용되는 사례가 증가하는 추세에 있다. 이런 고성능 콘크리트의 요구 성능을 만족시키기 위해서는 필연적으로 물-결합재비(W/B)를 작게 하고, 단위 결합재량을 다량으로 사용해야 한다. 그러나 고성능 콘크리트는 시멘트 수화반응에 관계된 자기수축(autogenous shrinkage)이 크게 증가되어 경우에 따라서는 자기수축만으로도 균열이 발생할 수 있다. 따라서 고성능 콘크리트의 균열제어 및 설계에서 자기수축에 의한 변형을 반드시 고려해야 하나, 국내에서는 고성능 콘크리트의 자기수축에 대한 검토가 충분하지 못하여 실제 구조물에 제대로 반영하지 못하고 있는 실정이다.

한편 콘크리트의 자기수축 및 건조수축 균열을 저감시키는 방법은 여러 가지가 있으나, 재료적 측면에서 해결하는 주요 방법으로써 저발열 시멘트, 팽창재, 수축저감제 및 혼화재료의 사용을 들 수 있지만, 국내에는 이런 관점에서 접근한 예가 거의 없는 실정이다. 따라서 본 논문에서는 고성능 콘크리트의 수축 특성 규명과 팽창재와 수축저감제에 의한 수축저감 기술에 대해 소개하고자 한다.

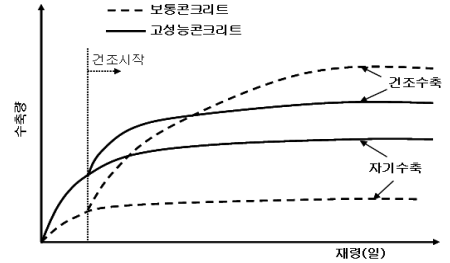


그림 1 콘크리트 종류에 따른 수축발현의 차이

2. 고성능 콘크리트의 자기수축특성

2.1 시멘트 종류 및 W/B의 영향

표 1과 그림 2에 나타난 바와 같이 시멘트 종류에 따라 자기수축이 크게 다르며, 보통포틀랜드시멘트(N)에 비해 중용열시멘트(M), 저발열시멘트(L)가 상당히 작게 발생할 수 있음을 알 수 있다. 그림 3은 W/B가 자기수축에 미치는 영향인데, W/B 50%에서 100×10^{-6} 이하로 자기수축을 거의 무시할 정도이나, W/B가 작을수록 즉 고강도화 될수록 자기수축이 증가하고, 자기수축도 빠르게 진행되어 변형률 최대값이 보다 빠른 시기에 도달하는 것으로 나타났다.

표 1 시멘트 광물 조성

Type of Cement	C ₃ S (%)	C ₂ S (%)	C ₃ A (%)	C ₄ AF (%)
N	49.7	23.9	8.8	9.4
M	48.4	31.2	2.0	12.2
H	64.6	9.7	8.8	8.5
S	58.0	18.5	1.9	13.7
W	67.2	11.2	11.6	0.6
O	56.2	20.7	1.8	14.0
L	27.8	56.3	2.4	7.6

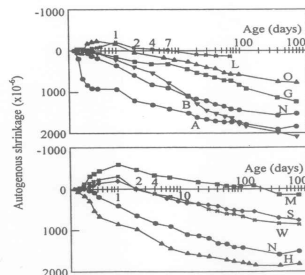


그림 2 시멘트 종류의 영향

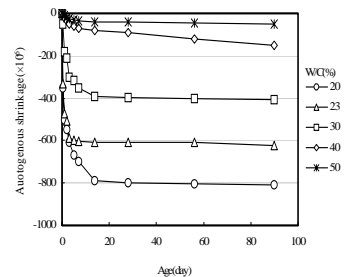


그림 3 W/B의 영향

2.3 광물질 혼화제의 영향

그림 4는 W/B 30%, 단위수량 175kg/m³인 고성능 콘크리트에 대해 광물질 혼화제 종류 및 치환율에 따라 건조수축과 자기수축을 평가한 결과이다. 플라이애시(FA)를 혼입한 경우, 치환율에 증가함에 따라 건조수축은 증가하나 자기수축은 감소하는 것으로 나타났다. 고로슬래그(BS)를 혼입한 경우, 건조수축은 큰 변화가 없으나 자기수축은 혼입률이 증가함에 따라 크게 증가되어 동일 재령에서 건조수축의 70% 이상을 차

지하는 것으로 나타났다. 또한 최근 고로슬래그를 수화열 저감 목적으로 사용되거나 고분말도를 사용하는 경우가 증가되는 경향이 있는데 고로슬래그는 온도의존성이 높기 때문에 최대발열이 높고, 고분말도의 경우에는 수화반응성이 높기 때문에 자기수축 변형율이 크게 증가되어 그 자체만으로도 균열이 발생할 가능성이 있기 때문에 이에 대한 대책이 필요할 것으로 사료된다. 실리카 폼(SF)을 혼입한 경우, 건조수축에 미치는 영향은 거의 없고 자기수축은 혼입률이 증가함에 따라 약간 증가하는 것으로 나타났다.

이상과 같이 광물질 혼화제가 건조수축 및 자기수축에 미치는 영향이 다르기 때문에 고성능 콘크리트 배합 및 제조할 경우에 사전에 충분한 검토가 필요할 것으로 사료된다.

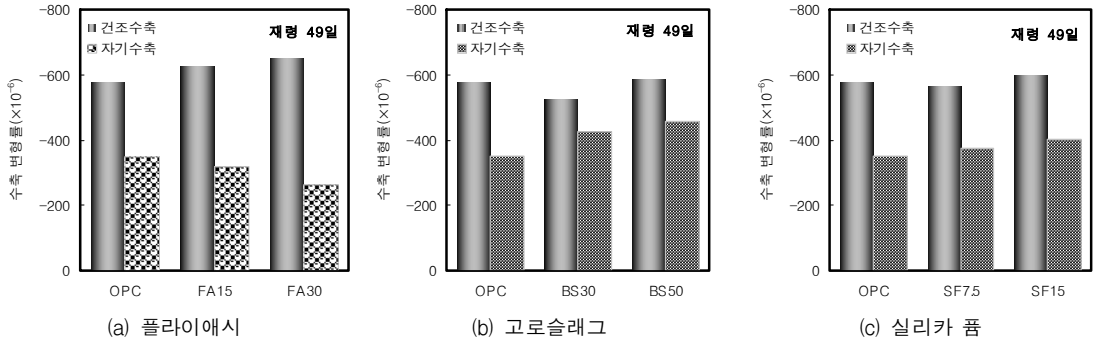


그림 4 광물질 혼화제 종류에 따른 수축특성(W/B 30%)

3. 고성능 콘크리트의 수축저감 기술

3.1 개요

콘크리트의 수축을 저감시키는 방법으로는 저발열 시멘트 사용, 충분한 습윤양생 실시, 수축저감재료 사용 등이 있으나 이 중에서도 수축저감재료를 사용한 경우가 가장 유효할 것으로 판단된다. 수축저감재료로 수축을 저감시키는 방법으로는 ①팽창재를 첨가하여 이들의 팽창작용으로 시멘트 페이스트 경화체의 수축을 보상하는 방법, ②수축저감제를 첨가하여 시멘트 페이스트 경화체에 작용하는 간극수의 표면장력을 저감시키는 방법, ③수축저감제와 팽창재를 조합사용하는 방법 등이 있다. 본 논문에서는 수축저감제와 팽창제를 조합사용하여 고성능 콘크리트의 수축을 저감시키는 방법을 위주로 소개하고자 한다.

3.2 팽창제와 수축저감제를 조합사용한 고성능 콘크리트의 수축특성

그림 5는 팽창제와 수축저감제를 사용한 고성능 콘크리트의 건조수축 및 자기수축 특성이다. 팽창제와 수축저감제를 사용하지 않은 경우의 건조수축과 자기수축은 각각 600×10^{-6} , 410×10^{-6} 정도로 비교적 크게 나타났다. 팽창제와 수축저감제를 조합사용한 고성능 콘크리트의 경우에는 초기재령에서 팽창제의 에트링가이트의 생성반응에 의해 수축 보상효과가 나타났고, 재령에 증가함에 따라 수축저감제 사용으로 콘크리트 내부에 존재하는 수분의 표면장력을 저하시키는 물리적 작용에 의해 수축을 저감시켜 일반 고강도 콘크리트에 비해 수축이 50% 정도 저감되는 것으로

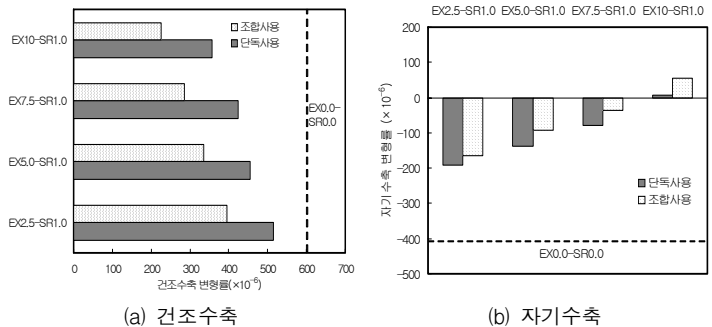


그림 5 팽창제와 수축저감제 조합사용한 고성능 콘크리트의 수축특성(W/B 30%)

나타났다. 그리고 팽창제와 수축저감제를 조합사용한 경우에는 단독으로 사용한 경우보다 20~40% 정도의 수축저감 상승효과 나타나 조합사용하는 기술은 고가의 팽창제를 적게 사용하더라도 콘크리트의 수축을 대폭 저감시킬 수 있을 것으로 나타났다.

그림 6은 팽창제 5%와 수축저감제 1%를 조합 사용한 고성능 콘크리트를 실제 구조물에 적용성을 분석하기 위해 800×800×800mm의 시험체로 Mock-up 시험을 실시한 결과이다. Mock-up 시험체에서도 수축 저감 고성능 콘크리트는 일반 고강도 콘크리트에 비해 수축 변형률이 50% 정도로 저감되었다. 또한 철근 배근을 하여 구속한 시험에서 자기수축에 의한 응력이 0.2MPa 정도로 상당히 작아 자기수축에 의한 균열은 발생하지 않는 것으로 분석되었다.

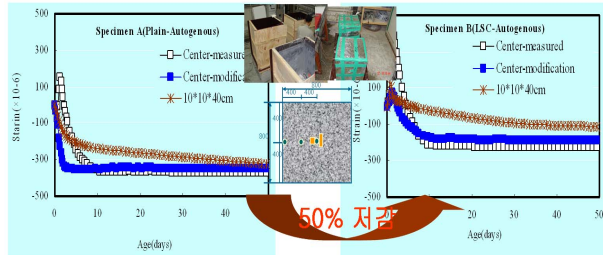


그림 6 수축저감 고성능 콘크리트의 Mock-up 시험결과

3.3 수축저감 고성능 콘크리트의 수축예측

그림 7은 수축저감 고성능 콘크리트의 수축예측 모델과 이를 고려하여 구조해석 결과이다. 수축저감 고성능 콘크리트의 자기수축 모델은 기존의 Tazawa 모델에서 사용재료의 종류에 따른 변수를 고려할 수 있는 항을 추가하였으며, 이와 더불어 팽창제 혼입을 고려하기 위해 Lognormal 곡선식을 조합시켰다. 또한 구속된 예측모델을 추가하여 RC 보의 휨 거동에 미치는 영향을 평가하기 위해 비선형 해석을 실시한 결과, 180일이 경과한 시점에서 건조수축과 자기수축을 고려한 경우의 처짐량은 자중만을 고려한 경우에 비해 약 10% 정도 처짐이 증가하는 것으로 분석되었다.

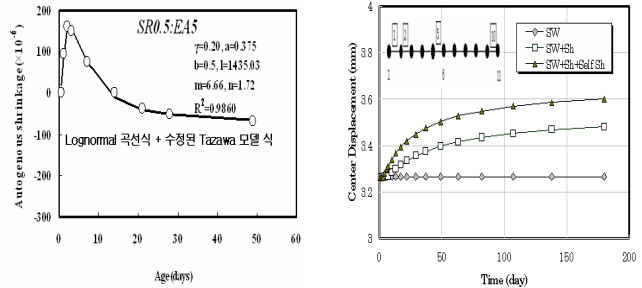


그림 7 고성능 콘크리트의 수축예측 모델 및 구조해석 결과

4. 결론

고성능 콘크리트는 사용재료 및 배합에 따라 수축이 크게 증가되고, 특히 시멘트 수화반응에 관계되는 자기수축만으로도 균열이 발생할 가능성이 있다. 고로슬래그를 사용하는 고성능 콘크리트는 자기수축이 크게 발생하여 적용되는 구조물 조건 및 고로슬래그의 분말도 등에 따라 수축에 의한 균열이 증가될 가능성이 있기 때문에 사용 시 주의할 필요가 있다. 팽창제와 수축저감제를 조합 사용한 경우에는 단독사용하는 경우에 비해 수축저감 상승효과가 나타나 보다 경제적이면서 안정적으로 수축을 저감시킬 수 있을 것으로 분석되었다.

참고문헌

1. 한국건설기술연구원, “콘크리트 교량의 내구성 향상 기술 개발”, 2006. 12
2. 自己收縮研究委員, “コンクリートの自己收縮研究委員会報告書”, 日本コンクリート工學協會, 2002.
3. 김은점, 김성욱, 이광명, 김진근 등, “콘크리트 체적변화의 예측기술”, 한국콘크리트학회지, 2005. 7.
4. 류금성, 고경택, 한천구, 이장화, “Study on Reduction of Shrinkage of High Performance Concrete”, JCI 연차논문집, 2007. 07.