

고강도 콘크리트 부재의 크리프 및 건조수축 특성에 관한 실험적 연구

An Experimental Study on Creep and Shrinkage of High-Strength Concrete Member

오 병 환* 엄 주 용** 유 승 운*** 차 수 원**** 김 종 한*****
Byung Hwan Oh Joo Yong Um Seung Un You Soo Won Cha Jong Han Kim

요약

콘크리트가 구조용 재료로써 활용되기 시작한 이래 크리프와 건조수축의 특성 규명을 위한 연구는 많은 연구자들에 의해 수행되어 왔다. 그러나 그 거동은 아직도 명확히 규명된 것은 아니며 이는 고강도 콘크리트의 경우 더욱 그러하다. 따라서 본 연구는 현재 국내에서 그 사용이 늘어나고 있는 고강도 콘크리트의 크리프 및 건조수축특성에 대한 기본적인 자료를 제공하기 위해 수행되었다. 본 연구의 주된 변수는 고강도 콘크리트, 배근유무, 철근비, 건조조건, 재하재령 등이며, 이들의 영향에 대한 크리프 및 건조수축특성을 규명하였다. 이것은 앞으로 고강도콘크리트구조물 설계에 중요한 자료가 될 것으로 사료된다.

ABSTRACT

Many researchers have performed studies on creep and shrinkage of concrete since concrete was used for construction material. Mechanism of creep and shrinkage however is not quite well-known, especially for high strength concrete. Therefore, the purpose of this study is to explore the shrinkage and creep characteristics of high strength concrete. The main variables investigated include condition of drying, reinforcement and duration of load. The effects of drying and reinforcements are clarified and compared with various existing models. The present study provides useful data for design and analysis of high strength concrete structures.

1. 개요

콘크리트의 크리프와 건조수축은 구조물 제작후에 발생하여 콘크리트에 균열이나 내구성 저하등을 유발하므로, 일단 발생한 후에는 그에 대한 제어가 어렵다는 점때문에, 이의 사전 예측과 방지에 대한 연구가 광범위하게 진행되어 왔다. 그러나 이러한 크리프와 건조수축의 메카니즘은 현 시점에서 완벽하게 밝혀져 있지는 않다. 그 이유로는 이에 영향을 미치는 인자로 콘크리트의 조성

뿐만 아니라 주위환경, 구조물의 성격, 구조물의 형태까지 고려해야 한다는 점을 들 수 있다. 특히 최근 들어 사용이 급증하고 있는 고강도 콘크리트의 경우 그 발생정도는 상대적으로 적은 편이나 일단 발생한 경우에는 상당한 문제를 유발하는 것으로 알려져있어 이에 대한 주의가 요망된다.

크리프와 건조수축은 프리스트레스트구조물에 많은 영향을 미치며, 건조수축 및 크리프로 인한 프리스트레스의 손실뿐 아니라, 장기처짐에도 큰 영향을 미치므로 이에대한 충분한 고려를 하여야 한다. 특히, 종래와 다른 고강도 콘크리트 사용의 경우에는 이러한 프리스트레스 손실에 대한 정확한 이해가 요구되며 이를 통해서만이 안전한 구조물 제작이 가능하다.

*서울대학교 토목공학과 부교수

**서울대학교 토목공학과 박사과정수로

***삼성종합건설 기술연구소 선임연구원

****서울대학교 토목공학과 석사과정

*****삼성종합건설 기술연구소 연구원

또한 건조수축의 경우 물-시멘트비가 낮고 부배합인 고강도 콘크리트에서 자주 발견되는 것으로 보고되고 있으므로 이로 인한 균열 발생이 우려되며, 이는 프리스트레스트 구조물의 경우 치명적일 수 있다. 따라서, 고강도 콘크리트를 사용한 프리스트레스트 구조물의 경우에는 크리프와 건조수축을 충분히 고려한 설계가 필요하고 이를 위해 크리프와 건조수축에 대한 연구가 선행되어야 한다.

본 연구에서는 크리프 및 건조수축의 기존 모델을 정리하여 본 연구에서 시행될 크리프 및 건조수축 실험의 해석에 적용하고자 한다. 크리프 및 건조수축 실험을 통하여, 무근 콘크리트 뿐 아니라 철근 콘크리트의 습도 및 온도에 의한 효과 및 특성을 규명하고자 한다.

2. 실험 개요 및 방법

2.1 실험개요 및 목적

본 실험은 고강도 콘크리트의 크리프 및 건조수축 특성을 파악하고 철근의 구속효과를 규명하는데 그 목적이 있다.

실험에 사용된 시편은 배근에 의한 크리프 및 건조수축 억제 효과를 고려하여 무근과 배근된 경우를 나누어 제작하였고 그 크기는 15x30cm인 원형 공시체이다. 배근된 경우에도 철근비의 효과를 관찰하기 위해 그림 1에서 보인 바와 같이 D6, D10 이형철근을 배근한 경우로 나누었고 이때의 철근비는 0.64%, 1.78%이다. 온·습도의 영향을 최소화하기 위해 상대습도 50%, 온도 23°C로 유지되는 항온항습실에서 실험을 수행하였다. 동시에 크리프 및 건조수축 시편 외부를 파라핀으로 도포하여, 시편의 내·외부의 수분이동이 배제된 경우의 크리프 및 건조수축 변형도를 측정하는 실험을 병행하였다.

크리프 실험시의 재하 하중은 극한 압축 강도에 따라 결정되는 변수인데 압축강도를 시험한 결과 460kg/cm²의 평균 압축강도를 얻었다. 이 결과에 근거하여 크리프 실험을 위한 재하 강도비를 각각 극한강도의 30%에 해당하는 138kg/cm²(24.4ton)를 재하하였다.

지금까지 보인 바 철근비, 파라핀 도포 유무, 재하 하중을 실험 변수로 정하여 크리

프 시편 10개와 건조수축 시편 6개를 제작하였고, 각 실험 변수에 따른 시편 분류는 표 1과 같다.

표1 크리프 및 건조수축 실험을 위한 시편 분류 및 내용

시편 기호	상대 습도 (%)	철근비 (%)	작용 응력 (f_c/f_c')
C30A-U	50	0.0	0.3
C30A-S	100	0.0	0.3
C30B-U	50	0.64	0.3
C30B-S	100	0.64	0.3
C30C-U	50	1.78	0.3
C30C-S	100	1.78	0.3
SA-U	50	0.0	0.0
SA-S	100	0.0	0.0
SB-U	50	0.64	0.0
SB-S	100	0.64	0.0
SC-U	50	1.78	0.0
SC-S	100	1.78	0.0

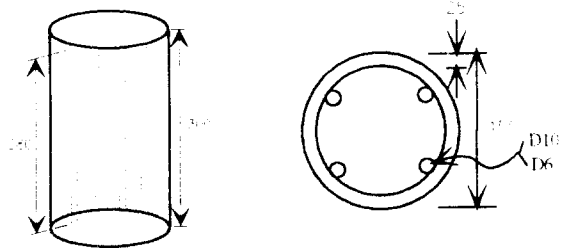


그림 1 시편 배근도

2.2 실험재료 및 방법

(1) 실험 재료

시멘트는 제3종 조강 시멘트를, 조골재는 단양산의 19mm 쇄석을, 세골재는 한탄강산을, 혼화제로는 고유동화제 Mighty 150을 각각 사용하였다. 골재의 물리적 특성은 표 2와 같다.

표 2 골재의 물리적 특성

골재 종류	입도	비중	흡수율 (%)	No. 200체 통과 (%)
조골재	양호	2.82	0.682	0.64
세골재	양호	2.59	1.410	2.0

위와 같은 재료를 사용하여 제작한 콘크리트의 배합 설계표는 표 3과 같고, 혼화제는 시멘트 중량비로 1.5%(7.740 kg/m³)를 투입하였다.

표 3 콘크리트의 배합 설계표

W/C Ratio (%)	Water (kg/m ³)	Cement (kg/m ³)	Sand (kg/m ³)	Gravel (kg/m ³)
38	196	516	612	1082

2) 실험 방법

크리프의 공시체 제작 및 실험 방법은 KS F 2453(콘크리트의 크리프 시험방법)와 ASTM C512-82(Standard Test Method for Creep of Concrete in Compression)에 의거하여 실험을 수행하였고, 공시체는 28일 수중 양생 후 하중재하 직전에 양면을 켈핑을 하였다. 기본 크리프를 측정하기 위하여 시편 표면을 파라핀으로 도포하여 내부 수분의 손실을 방지하였다. 재하 하중의 측정은 50ton용량의 Load Cell을 그림 2와 같이 시험기에 장착하여 행하였고, 변형을 측정하기 전에 하중을 측정하여 그 하중이 재하 하중의 2%이상 변할 때는 하중을 보정하였다.

크리프와 건조수축 변형도를 측정하기 위해서 ASTM C341-79(Standard Test Method for Length Change of Drilled Specimens of Cement Mortar and Concrete)의 규정에 따라 게이지 길이가 250mm이고 1/500mm 까지 측정 가능한 쫘트 모아식 스트레인 게이지를 사용하였다. 시편의 길이 방향으로 게이지 스테드를 250mm간격으로 한 시편당 2개씩 대칭으로 삽입하였다.

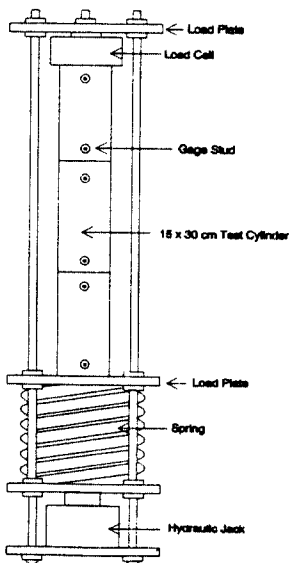


그림 2 크리프 시험장치

2.3 실험 수행

하중을 재하하기 전에 시편의 게이지 길이를 측정하고, 재하한 직후 변형량을 측정하여 하중에 의한 탄성 변형도를 산정하였다. 크리프는 하중 재하 초기에 발생량이 많으므로 처음 1일은 2회, 처음 1주일간은 매일, 처음 1개월간은 매주, 그 이후로는 15일 또는 30일 간격으로 변형을 측정하였다. 건조수축 시편의 경우도 크리프와 동일한 시간 간격으로 길이 변화를 측정하였고 크리프와 건조수축 공히 현재 150일간의 변형량 측정치를 얻었다.

3. 실험결과 및 분석

3.1 시간경과에 따른 크리프 및 건조수축의 변화

150일간 하중을 재하하여 발생한 각 시편의 크리프와 건조수축 변형을 그림3과 그림4에 도시하였다.

여기서 알 수 있는 바와 같이 시간의 경과에 따른 총 변형량 - 하중의 재하와 건조수축의 동시 적용 - 은 파라핀 도포한 경우와 철근비가 증가할수록 상대적으로 감소한다.

3.2 기본크리프 및 건조크리프의 특성

크리프를 유발하는 근본 원인은 장기간 지속되는 하중이지만 하중이 재하되는 기간의 주위환경, 즉 온도와 건습 역시 상당한 영향을 미치는 것으로 알려져 있다. 본 실험의 경우 이러한 효과를 관찰하기 위해 동일한 시편에 대해 각각 파라핀을 도포한 경우

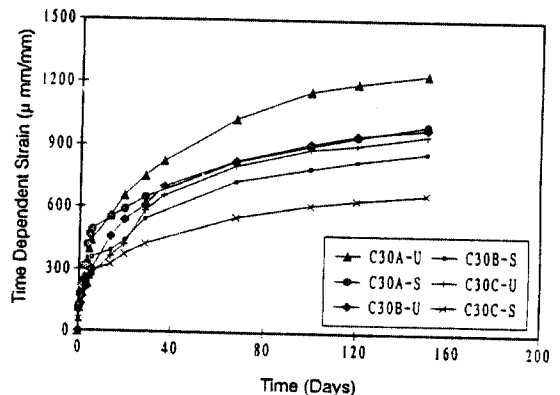


그림 3 시간경과에 따른 크리프 양상

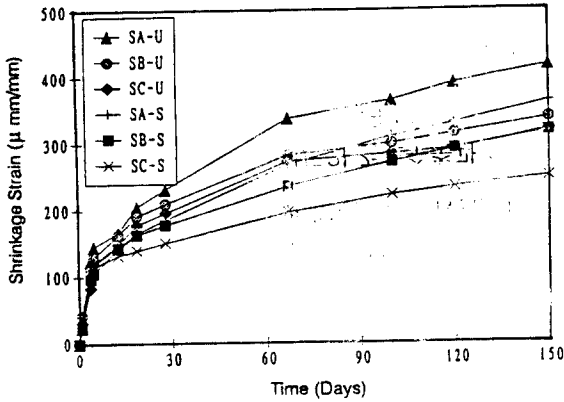


그림 4 시간경과에 따른 건조수축 양상

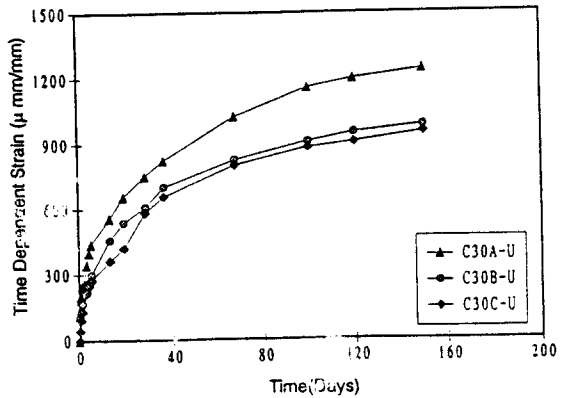


그림 5 철근비에 따른 크리프 변화 (비도포시편)

와 그렇지 않은 경우를 나누어 실험하였다.

물론 이 경우 파라핀 도포가 콘크리트 내부의 수분 방출을 완전히 차단한다고 보기는 어려우나 그 영향은 분석할 수 있으며 본 실험결과에 보인 바와 같이 배근 유무와 철근비 정도에 관계없이 파라핀을 도포한 경우의 시간경과에 따른 전체적인 변형량이 작음을 알 수 있다.

3.3 철근비에 따른 크리프 및 건조수축의 변화

크리프와 건조수축은 실제에 있어서 콘크리트에서만 관찰되는 재료특성이라 할 수 있다. 그러나, 실제 구조물은 철근으로 보강되어 있고 그 배근된 철근은 크리프와 건조수축에 의한 변형을 구속하는 작용을 하게 된다. 이러한 철근의 구속효과를 관찰하기 위해 철근비 0.64%, 1.78%로 달리하여 배근한 시편을 제작하였다. 그림 5, 6은 무근과 철근을 배근한 경우의 크리프와 건조수축을 비교한 것이다.

그림에서 알 수 있는 바와 같이 앞서 도포 효과를 관찰한 결과와는 달리 초기재령에서부터 최종값까지 그 변형량이 무근-철근비 0.64%-철근비 1.78% 순으로 감소하였다.

시편을 도포하지 않은 경우의 변형량은 배근 유무에 크게 영향을 받았고 철근비의 영향은 두드러지지 않았다. 시편을 도포한 경우는 철근비의 영향이 상당히 뚜렷하게 나타났다. 이와 같은 차이는 시편을 도포하지 않은 경우의 총 변형량이 전반적으로 도포한 경우보다 크기때문에 철근비의 영향이 어느 정도 상쇄되기 때문인 것으로 사료된다.

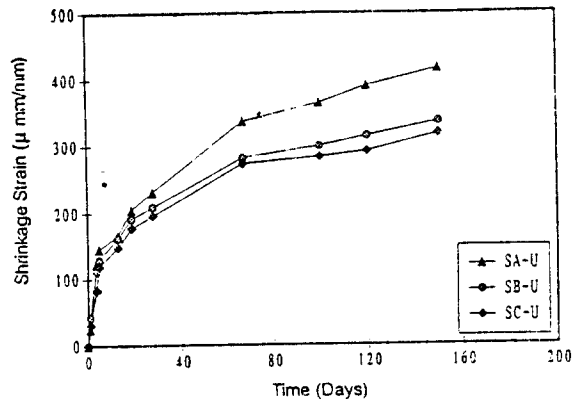


그림 6 철근비에 따른 건조수축 변화 (비도포시편)

4. 실험결과와 이론모델의 비교 검토

기존의 크리프 및 건조수축 거동 예측 모델과 본 실험자료와 비교하여 그림 7과 8에 보였다. 본 실험을 통해 얻은 크리프 변형은 ACI모델과 그 경향이 유사하며 최종 실측치인 재령 150일의 크리프 변형량은 CEB모델에서 산출된 값에 접근하였다. 재하재령 150일에서의 각 모델별 예측오차는 ACI 33%, CEB 2%, BP 23%이다. 건조수축의 경우는 각 모델간의 예측곡선이 상당한 차이를 보이고, 변형량의 증가 양상은 BP모델과 유사하였고 그 값은 CEB모델에 약간 치우친 정도로 나타났다.

5. 결론

본 연구는 현재 시공중인 고강도 콘크리트 구조물에 있어서의 크리프와 건조수축 특성을 규명하기 위해 수행되었고 이를 정리하면

참고 문헌

1. Gilbert, R.I., "Time Effects in Concrete Structures," Elsevier, 1988 pp.24-47, 59-90
2. Neville, A.M., Dilger, W.H., and Brooks, J.J., "Creep of Plain and Structural Concrete," Construction Press: London and New York, 1983
3. Collins, T.M., "Proportioning High-Strength Concrete to Control Creep and Shrinkage," ACI Materials Journal, Vol.86, No.6, November-December 1989, pp.576-581
4. Ngab, A.S., Nilson, A.H., and Slate, F.O. "Shrinkage and Creep of High Strength Concrete," J. of ACI, Vol.78, No.4, 1981, pp.255-261
5. Smadi, M.M., Nilson, A.H., and Slate, F.O., "Shrinkage and Creep of High-, Medium-, Low-Strength Concrete," J. of ACI, Vol.84, 1987, pp.224-234

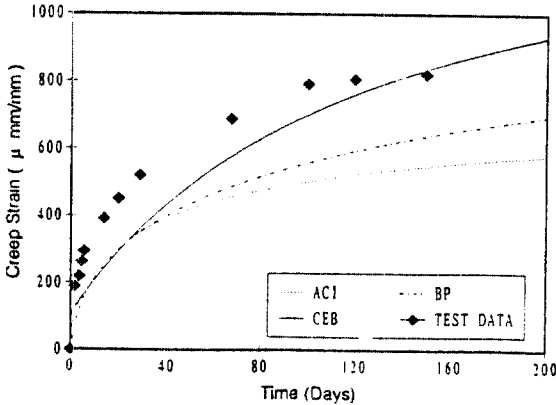


그림 7 기존예측모델과 실험자료와의 크리프변형도 비교 (C30A-U의 경우)

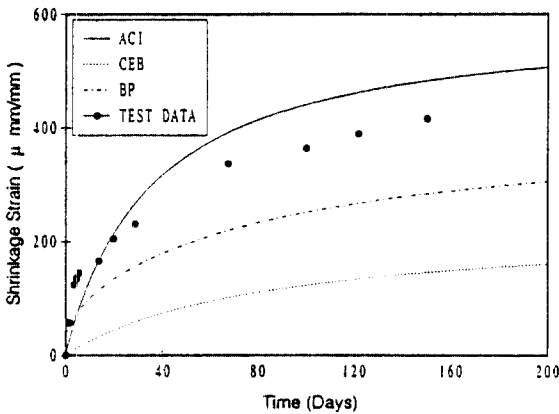


그림 8 기존예측모델과 실험자료와의 건조수축변형도 비교 (SA-U의 경우)

다음과 같다.

- (1) 시간의 경과에 따른 총 변형량 -하중재하와 건조수축의 동시 적용 -은 파라핀을 도포한 경우와 철근비가 증가할수록 상대적으로 감소하였다.
- (2) 시편을 도포하지 않은 경우의 변형량은 배근유무에 따라 철근비의 영향은 상대적으로 크지 않았다. 시편을 도포한 경우는 철근비의 영향이 두드러졌다.
- (3) 본 실험변수를 기존모델들과 비교한 결과 상당히 양호하게 부합함을 알 수 있었다.
- (4) 본 실험결과를 토대로 크리프 및 건조수축 특성을 해석모델을 통해 검증하였다.

이상을 통해 볼때 기본적인 자료의 획득과 현재의 국내 실정에 맞는 예측모델의 선정 및 개발을 위해 좀 더 심화된 연구가 뒤따라야 할 것으로 사료된다.