

# 상대습도 100% 환경에 노출된 콘크리트의 시간 의존적 거동

## Time-dependent Behaviors of Concrete Exposed in the 100% Relative Humidity

민 경 환\*  
Min, Kyung Hwan

김 울 희\*\*  
Kim, Youlhee

정 형 철\*\*  
Jung, Hyung Chul

윤 영 수\*\*\*  
Yoon, Young Soo

---

### ABSTRACT

In order to assess time-dependent behaviors of the high-strength concrete that applied in actual FCM bridges with various curing environments, the shrinkages of air-dried, sealed, and moist 100×100×400 mm prism specimens were measured. And the compressive creep test of 3 and 28 days aged concrete in the tap water and 10% CaCl<sub>2</sub> solutions were carried out, then results were compared with traditional test results of air-dried and sealed specimens. Time-dependent behaviors of the concrete that according to curing circumstances between sealed and moist specimens show remarkable differences not only on the shrinkage but also on the creep. Hence there need some reconsiderations to the traditional creep test manners that predicting the creep and shrink age of actual concrete structures.

### 요 약

실제 FCM 교량에 적용되는 고강도 콘크리트의 시간의 다양한 양생 환경에서의 시간 의존적 거동을 평가하기 위해, 기건 및 도포, 습윤 환경에서의 100×100×400mm 각주형 공시체의 수축량을 측정하였다. 또한 상수와 10% CaCl<sub>2</sub> 수용액에 노출된 콘크리트의 3일 및 28일 재령에서의 압축크리프를 측정하였고, 일반적인 기건 및 도포 공시체의 실험 결과와 비교하였다. 도포와 습윤 양생 환경에 노출된 콘크리트의 시간 의존적 거동은 건조수축과 크리프 모두 상당한 차이를 보였다. 따라서 기존의 크리프 실험 방법으로 실제 콘크리트 구조물의 크리프와 건조수축을 측정하는 것에 대한 재고가 필요하다고 판단된다.

---

\* 정회원, 고려대학교 건축·사회환경공학과 박사과정

\*\* 정회원, 고려대학교 건축·사회환경공학과 석사과정

\*\*\* 정회원, 고려대학교 건축·사회환경공학과 교수

## 1. 서론

기존의 콘크리트의 시간 의존적 거동에 대한 실험 방법에서 크리프는 전체 시간 의존적 변형에서 건조수축에 의한 변형을 제외한 값으로 구한다. 이러한 방법이 편리하기는 하지만 실제로 크리프와 건조수축은 완전히 분리되는 현상이 아니고, 건조수축은 크리프 변형을 증가시키는 요소로 간주되어야 한다. 또한 고강도 콘크리트에서는 건조수축과 비슷한 현상을 보이지만 다른 메커니즘으로 발생하는 자기수축량이 크게 발생한다. 최근까지 FCM 교량 등에 적용되는 콘크리트의 시간 의존적 거동에 대한 연구가 지속적으로 이루어지고 있지만, 이러한 연구에서는 상대습도 50% 및 20°C의 항온 항습 조건에서 극한강도의 약 40%를 재하한 실험적인 연구가 수행되어왔다. 하지만 실제의 구조물은 이러한 일정하고 안정된 환경이 아닌, 매우 다양한 시공간의 환경에 직접적으로 노출된다. 이에 본 연구에서는 실제 FCM 교량 콘크리트에 적용되는 콘크리트의 다양한 예측 환경에서의 시간 의존적 거동을 측정하기 위해, 4가지의 양생 조건(기건, 도포, 습윤(상수 및 10% CaCl<sub>2</sub> 수용액))을 구성하고 실험적으로 평가하였다.

## 2. 실험 방법

본 연구에서 실험한 공시체는 실제 FCM 교량에 적용된 콘크리트로 제작하였고, 설계강도는 40 MPa, 목표 슬럼프플로우는 500mm이다. 굵은 골재의 최대치수는 20mm, 조립률은 6.56이고, 잔골재는 조립률 2.55의 해사를 사용하였다. 또한 소정의 워커빌리티 획득을 위해 폴리카본산계 고성능 AE 감수제를 사용하였다. 압축강도와 탄성계수는 크리프 실험과 동일한 재령에서 측정하였고, 각 재령에서 측정된 압축강도와 탄성계수는 표 1과 같다.

건조수축 실험은 100×100×400mm 각주형 공시체를 제작하여, 내부에 콘크리트게이지를 매입하여 200일 재령까지 측정하였다. 공시체 제작 후 24시간 후에 탈형하여, 도포 공시체의 경우는 알루미늄 테이프로 도포하였다. 크리프 실험은  $\phi 150 \times 300$ mm 원주형 공시체를 제작하여 매입한 콘크리트게이지로 측정하였고, 건조수축 실험 공시체와 동일하게 탈형 및 양생하였다. 기건 및 도포된 공시체의 크리프 실험은 3, 7, 28, 90일 재령에서 각각 극한하중의 40%를 재하하였고, 3일 재령 공시체를 제외하고는 모두 7일간 수중 양생한 이후에 20±1°C 및 상대습도 50±3%의 항온항습실에서 양생하고 각각의 재령에서 실험을 수행하였다.

습윤 환경에서의 시간 의존적 거동은 상수와 10% CaCl<sub>2</sub> 수용액에서의 양생 조건을 만들었고, 건조수축 실험은 탈형 직후 그림 1과 같이 수조에서 양생하면서 측정하였다. 크리프 실험은 그림 2와 같이 원주형 공시체의 노출면이 습윤 환경에 접하도록 아크릴 박스를 제작하였고, 3일과 28일 재령에서 실험을 수행하였다.



그림 1 건조수축 실험



그림 2 크리프 실험

표 1 압축강도 및 탄성계수

재령	압축강도 (MPa)	탄성계수 (MPa)
3	28.7	25,349
7	37.2	27,378
28	48.7	30,094
90	51.2	31,738

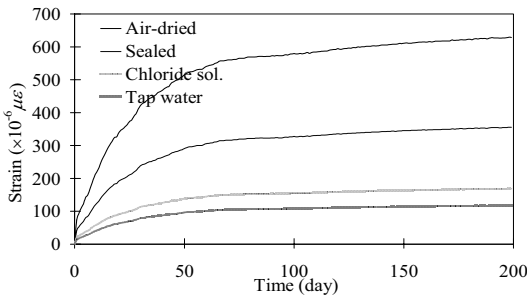


그림 3 각주공시체의 건조수축량

표 2 200일 재령에서의 측정값

		Air-dried	Sealed	Tap water	CaCl <sub>2</sub> sol.
Shrinkage strain (prismatic, ×10 <sup>-6</sup> )		629	355	169	118
Specific Creep (cylindrical, ×10 <sup>-6</sup> /MPa)	3	98.92	87.65	74.28	71.07
	7	85.64	64.06	-	-
	28	46.05	27.86	20.1	20.86
	90	32.37	19.08	-	-

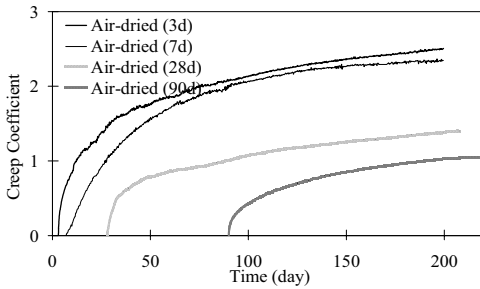


그림 4 기건 원주형 공시체의 크리프계수

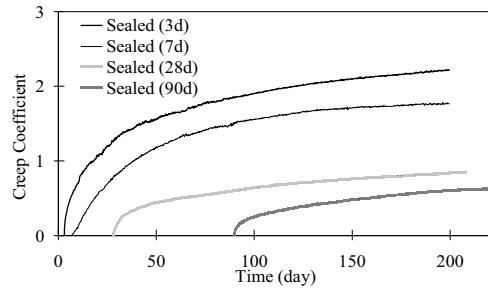


그림 5 도포 원주형 공시체의 크리프계수

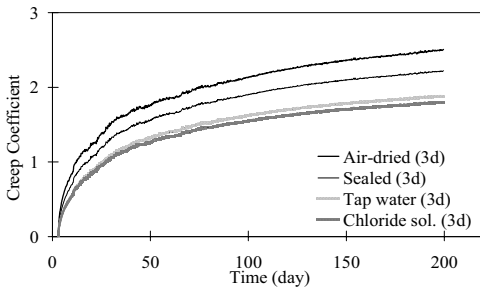


그림 6 3일 재령 콘크리트의 크리프계수

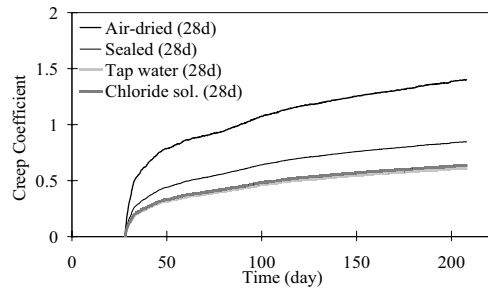


그림 7 28일 재령 콘크리트의 크리프계수

### 3. 실험 결과

콘크리트의 시간 의존적 변형에 관한 연구는 두 가지 목적을 갖는다고 할 수 있다. 첫째는 콘크리트의 이러한 현상학적 특성 예측에 관한 정보를 제공하는 것이고, 둘째는 엔지니어에게 상기한 정보를 적용할 수 있도록 공학적인 설계 기준을 제공하는 것이다. 자기수축은 아주 작은 물/시멘트비의 경우를 제외하고는 비교적 그 양이 작으며, 실용적인 목적으로 콘크리트로부터 발생하는 건조에 의한 수축과 구별하지 않는 것이 통상적이다. 따라서 건조에 의한 수축은 일반적으로 자생적으로 발생하는 부피의 변화를 포함해서 나타낸다. 자기수축과 건조수축은 경화된 시멘트 내부의 습도가 줄어드는 현상이라는 면에서는 차이가 없지만 이들의 발생 메커니즘에는 차이가 있다. 즉 건조수축은 내부의 수분이 외부 환경으로 증발되면서 발생하지만 자기수축은 수화 반응에 의해 수분이 소모되면서 발생한다. 고강도 콘크리트의 배합 시에는 낮은 물/시멘트비로 인해 초기의 수화반응 중에 빠르게 수분이 소모되고, 이는 고강도 콘크리트에서 자기수축량이 커지는 주요 요인이 된다.

각주형 공시체의 건조수축은 200일 재령까지 측정하였고, 모두 30일 재령에서 200일 재령의 수축량

의 약 65%가 발생하였다. 그림 3에서와 같이 200일 재령에서 도포된 공시체의 수축량은 기건 공시체의 수축량의 절반 정도로 나타났고, 상수와 염화물 수용액에서 양생한 공시체는 기건 공시체에 비해 각각 27%와 19%가 발생하였다. 그림 3에서와 같이 염화물 수용액에서 양생한 공시체는 일반 상수에서의 경우보다 약간 많은 수축량을 보였고, 이에 대해서는 추가의 연구가 필요하다고 판단된다.

FCM 교량 적용 콘크리트의 기본 시간 의존적 거동을 평가하기 위해 4단계의 재령(3, 7, 28, 90일)에서 압축크리프 실험을 수행하였고, 200일 재령까지의 기건 공시체와 도포 공시체의 실험 결과는 그림 4, 5와 같다. 압축 크리프량은 일반적인 방법에서와 같이 하중 재하된 공시체의 총변형률에서 재하지 않은 공시체의 변형률만큼을 제외한 값으로 구하였고, 각 재령에서의 비크리프 값은 표 2와 같다. 200일 재령에서 기건 공시체와 도포 공시체의 비크리프양 비는 3, 7, 28, 90일 재령 하중 재하의 경우 각각 1.13, 1.33, 1.65, 1.70이었다. 통상적인 압축 크리프 실험의 양생 조건과 달리 100% 습윤 환경에 노출된 콘크리트의 거동을 보기 위한 실험적 연구를 위해 상수와 10% CaCl<sub>2</sub> 수용액에서 압축크리프 실험을 수행하였고, 200일 재령까지의 결과는 그림 6, 7과 같다. 상수와 양생된 공시체의 비크리프는 기건 공시체의 경우에 비해 3일과 28일 재령에서 각각 75%와 44%를 보였다. 염화물 수용액에서의 경우는 3일과 28일 재령에서 각각 72%, 45%의 비를 보였다. 각주형 공시체의 건조수축 실험에서는 상수와 염화물 수용액에서 양생한 경우의 차이를 보인 반면, 크리프 실험에서는 특히 건조수축의 영향이 미소하여 두 노출환경으로 인한 차이가 거의 없었다.

#### 4. 결론

실제 FCM교량에 적용된 콘크리트의 시간 의존적 거동을 실험적으로 평가하기 위해 건조수축과 압축크리프 실험을 수행하였다. 여러 양생 조건에서의 각주형 공시체의 수축변형률은 기건, 도포, CaCl<sub>2</sub> 수용액, 상수에서의 순서로 나타났다. 습윤 양생 조건에 노출된 콘크리트의 수축량은 다른 두 경우에 비해서 작게 나타났고, 염화물 수용액과 상수에서의 변형률 차이를 발생시킨 메커니즘에 대해서는 추가의 연구가 필요하다고 판단된다. 기건 환경에서의 비크리프양은 도포된 공시체의 경우보다 3, 7, 28, 90일 재령에서 각각 1.13, 1.33, 1.65, 1.70배가 크게 발생하였고, 도포된 공시체의 크리프양은 기건 공시체의 경우에 비해 3일과 28일 재령에서 89%와 61%이었다. 상수와 염화물 수용액에서 양생된 공시체의 경우는 3일과 28일 재령에서 각각 75%와 72%, 44%와 45%를 보였다. 크리프 실험에서 습윤 환경에 따른 영향은 건조수축 실험에서와 달리 그 차이가 거의 나타나지 않았다.

#### 감사의 글

본 논문은 건설교통부가 출연하고 한국건설교통기술평가원에서 위탁시행한 2004년도 건설핵심기술 연구개발사업(04핵심기술C01)의 지원으로 이루어졌습니다.

#### 참고 문헌

1. CEB-FIP, "Structural Concrete-Textbook on Behavior, Design and Performance," Fédération Internationale du Béton
2. Feldman, R. F. & Sereda, P. J., "A New Model for Hydrated Portland Cement and Its Practical Implication," Engineering Journal, Vol.8, No.9, pp.53-59
3. Tazawa, E., & Miyazawa, S., "Influence of Cement and Admixture on Autogeneous Shrinkage of Cement Paste," Cement and Concrete Research, Vol.25, No.2, pp.281-287