

콘크리트 장기특성 실험연구

A Study on the Long-term Behavior of Concrete

• 박 홍 석*

Park, Hung Seok

이 장 화**

Lee, Jang Hwa

김 공 환**

Kim, Keung Hwan

송 영 철***

Song, Young Chul

ABSTRACT

During the initial design phases for prestressed concrete structures, the necessary information concerning the physical properties of the hardened concrete such as creep, drying shrinkage, modulus of elasticity, and Poisson's ratio are obtained from design assumptions or accepted standards. But these assumptions may not totally reflect the actual long-term behavior of the concrete. So they may be of limited use in predicting the actual behavior. The purpose of this paper is to describe the test procedures and methods of evaluation which were used during the long-term study.

1. 서 론

프리스트레스트 콘크리트 구조물의 초기 설계단계에서 크리이프, 건조수축, 탄성계수, 포아슨비, 열팽창계수 등 경화된 콘크리트의 물리적 특성들은 설계가정, 공인된 기준 또는 공식계산으로 부터 얻어진다. 이러한 값들이 올바른 공학적 논리나 설계표준규정에 근거한다 해도 콘크리트의 실제 장기거동을 전적으로 반영하지 않을 수도 있다. 결과적으로 이러한 가정들은 실제 설계하중 조건하에서 또는 온도·하중·압력이 변하는 기간동안 실제 콘크리트의 장기거동을 예측하는데 제한적으로 사용될 수 밖에 없다. 이러한 이유로 중요한 구조물의 건설에 사용되는 콘크리트의 실제 물리적 특성을 결정하기 위해서는 장기특성 연구를 수행할 필요가 있다.

콘크리트의 물리적 특성값에는 시멘트의 종류, W/C비, 콘크리트의 재령, 양생조건, 온·습도, 설계압축강도, 골재원 등 무수히 많은 영향인자들이 크고 작은 영향을 미치고 있다. 특히 크리이프와 건조수축은 그 복잡한 성질 때문에 아직 만족할 만한 모델식이 정립되지 않은 상황이다. 본 연구에서는 여러 영향인자 중에서 크리이프에서의 초기 재하 재령을 변화시키면서 크리이프, 건조수축, 압축강도, 탄성계수, 포아슨비 등의 물리적 특성값을 측정하였고, 초기 재하재령은 7, 28, 90, 180, 365일로 설정하였다.

2. 실험방법

2.1 배합

콘크리트의 장기거동특성 연구를 위해 본 연구에서 사용한 콘크리트의 배합은 표 1과 같다. 사용된 배합의 W/C비는 40%이며, 시멘트양은 412 kg/m^3 이고, 28일 설계기준 강도는 $35\text{MPa}(357\text{kg/cm}^2)$ 이다. 5개 재령에서

* 정희원, 한국건설기술연구원 연구원

** 정희원, 한국건설기술연구원 수석연구원

*** 정희원, 한국전력기술연구원 선임연구원

의 크리이프와 건조수축실험 수행기간은 모두 1년으로 하였다.

횡방향 변형률

표 1. 배합표

W/C (%)	Water (kg/m ³)	Cement (kg/m ³)	Sand (kg/m ³)
40	165	412	746
Gravel (kg/m ³)	WRA (ml)	AE제 (ml)	Cement Type
980	1385	40	V

2.2 압축강도

각 재령별로 3개씩의 $\phi 15 \times 30\text{cm}$ 표준공시체를 제작하여 그 재령에서의 압축강도를 측정하였다.

2.3 탄성계수·포아슨비

각 재령별로 3개씩의 표준공시체에 대해 탄성계수와 포아슨비를 측정하였는데, 종방향 변형률을 측정하는 Compressometer와 횡방향 변형률을 측정하는 Extensometer를 조합하여 사용하였다. 측정방법은 ASTM C469에 의해 수행하였는데, 종방향 변형률이 50일때의 하중과 파괴하중의 40% 하중에 대한 변형률을 측정하여 식 1에 의해 탄성계수와 포아슨비를 계산하였다.

$$\text{탄성계수, } E = \frac{\sigma_2 - \sigma_1}{\epsilon_2 - 0.000050} \quad (\text{식 1})$$

$$\text{포아슨비, } \mu = \frac{\epsilon_{h2} - \epsilon_{h1}}{\epsilon_2 - 0.000050}$$

여기서, σ_2 : 파괴하중의 40% 하중에 대한 응력

σ_1 : 종방향 변형률이 50일때의 응력

ϵ_2 : 파괴하중의 40% 하중에 대한 종방향 변형률

ϵ_{h2} : 파괴하중의 40% 하중에 대한 횡방향 변형률

ϵ_{h1} : 종방향 변형률이 50일때의

2.4 크리이프·건조수축

크리이프와 건조수축을 측정하기 위한 표준공시체는 각 재령별로 6개씩 제작되었다. 이중 2개 공시체는 그 재령에서의 압축강도를 측정하기 위한 것이고, 2개 공시체는 크리이프, 나머지 2개는 건조수축을 측정하기 위한 것이다. 측정은 ASTM C512에 의해 수행되었는데 변형률은 크리이프 하중을 재하하기 직전과 직후, 재하후 6시간까지는 1시간에 1회, 1주일 동안은 매일, 1달까지는 매주, 1년까지는 매달 1회씩 측정되었다.

측정방법은 공시체에 stud를 삽입하는 방법을 사용하였는데, 2개의 크리이프용 공시체를 수직으로 쌓아올렸고, stud의 삽입방향은 위아래 공시체에 대해 90°로 하므로써 편심의 영향을 최소화하였다. stud 사이의 거리변화는 1/1,000mm 정도를 가진 Demec Gage를 사용하여 측정하였다.

본 연구에서는 표 2와 같이 각 재령에서 측정한 2개 공시체의 압축강도 평균값의 35% 정도로 크리이프 재하하중을 설정하였다. 또한 크리이프 및 건조수축 실험이 수행되는 항온항습실은 23°C의 온도와 50%의 상대습도로 일정하게 유지시켰다.

표 2. 크리이프 재하하중

재령 (일)	지속 하중 (% of P _f)
7	35.2
28	34.3
90	34.9
180	33.1
365	35.7

3. 실험결과 및 분석

3.1 압축강도·탄성계수·포아슨비

각 재령별로 측정된 압축강도, 탄성계수, 포아슨비의 실험결과와 평균값은 표 3에 나타내었고, 이를 그림 1, 2, 3에 도시하였다. 압축강도는 양생초기재령에서는 강도발현이 현격하였으나, 재령이 증가할수록 강도발현이 완만함을 알 수 있었다. 탄성계수의 경우는 재령이 증가할수록 값이 커지지만 증가폭은 완만한 곡선을 보이고 있다. 이를 회귀분석한 결과식은 식 2에 나타내었는데, 측정값의 평균과의 편차가 2% 이내로 매우 작음을 알 수 있었다.

$$E(t) = 271035.489 t^{0.041} \quad (\text{식 2})$$

여기서, $E(t)$: 양생재령에 따른 탄성계수
(kg/cm^2)

t : 양생재령

포아슨비의 측정값은 재령에 따른 변화가 거의 없는 것으로 나타났다.

표 3. 압축강도·탄성계수·포아슨비 측정값

재령 (일)	압축강도 (kg/cm^2)	탄성계수 (kg/cm^2)	포아슨비
7	344.3	293,958	0.219
28	359.3	312,445	0.227
90	496.9	319,392	0.213
180	497.3	339,315	0.207
365	502.0	345,669	0.210

3.2 크리이프·건조수축

초기재하재령에 따른 크리이프 및 건조수축 측정값의 평균값은 그림 4, 5, 6에 도시하였다. 180일과 365일 재령에 재하된 실험은 현재 계속 측정중에 있다. 측정결과 초기탄성변형률은 초기재하재령에 관계없이 거의 일정한 값을 나타내었다. 초기탄성변형률과 건조수축과 순수크리이프의 합인 총변형률은 초기재하재령이 길어질수록 감소하였다.

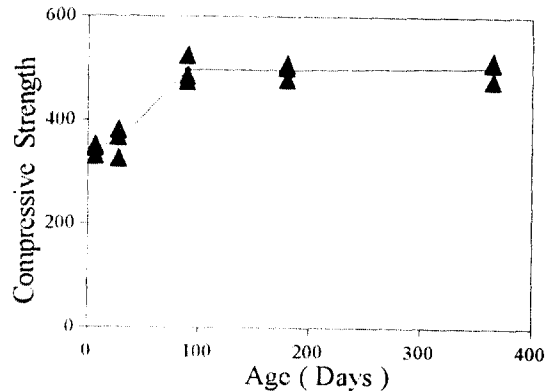


그림 1. 압축강도 측정값

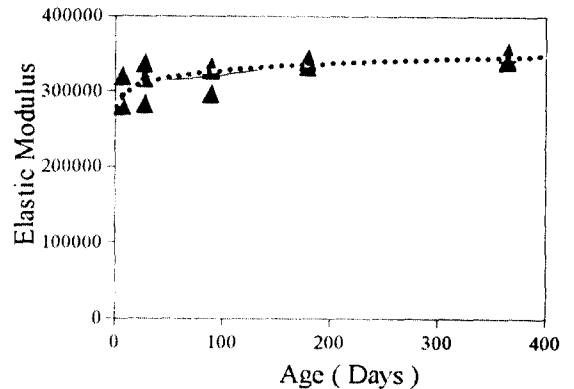


그림 2. 탄성계수 측정값

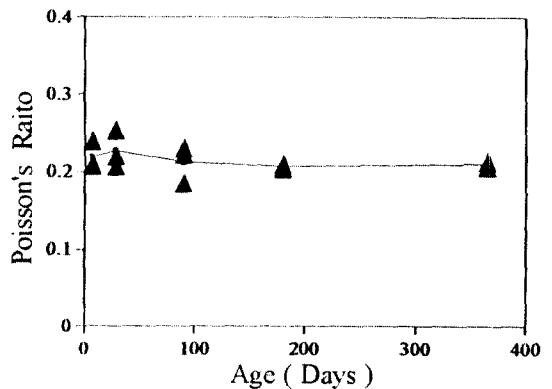


그림 3. 포아슨비 측정값

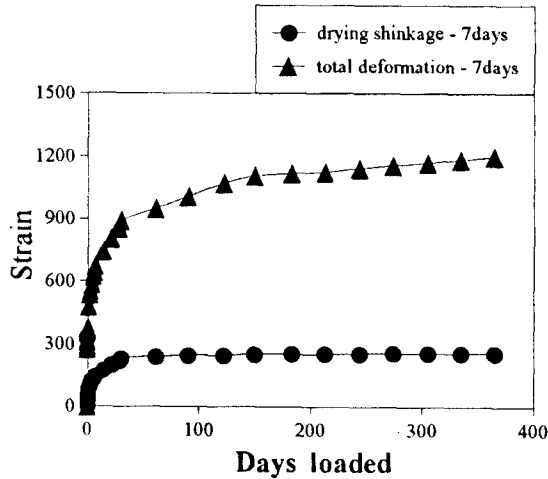


그림 4. 크리이프와 건조수축 (7일차)

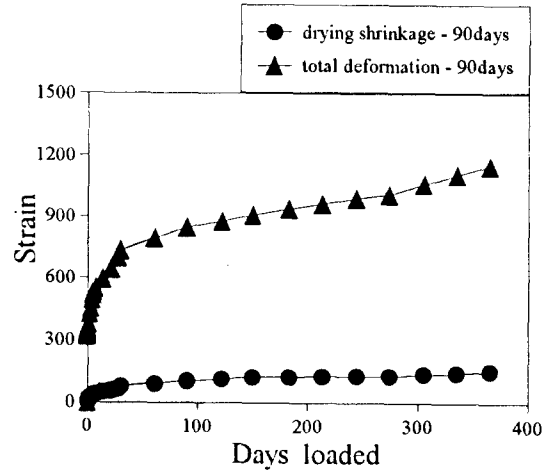


그림 6. 크리이프와 건조수축 (90일차)

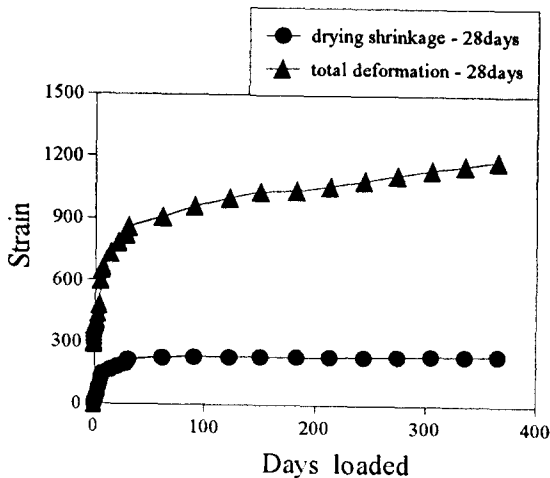


그림 5. 크리이프와 건조수축 (28일차)

4. 결론

본 연구에서는 크리이프하중의 재하재령을 변화시키면서 콘크리트의 물리적 특성값들의 장기거동을 실험을 통하여 구하였다. 실험결과 압축강도, 탄성계수, 포아슨비의 시간경과

에 따른 특성을 파악하였으며, 크리이프 및 건조수축의 재하재령별 특성도 도시하였다. 이러한 장기특성 연구결과는 크리이프와 건조수축의 효과로 인한 특정 콘크리트에서의 장기적인 프리스트레스 손실량을 정확히 예측하는데 사용될 수 있으므로, 중요한 프리스트레스트 콘크리트 구조물의 건설에는 이러한 장기특성 연구를 수행할 필요가 있다.

참고문헌

1. Neville, Creep of plain and structural concrete, 1983.
2. ASTM C512, Standard test method for creep of concrete in compression
3. ASTM C469, Standard test method for static modulus of elasticity and Poisson's ratio of concrete in compression