

재활용 PET 폴리머 콘크리트의 휨 크리프모델

Flexural Creep Model of Recycled-PET Polymer Concrete

태기호* 조병완** 박종화***
Tae, Ghi Ho Jo, Byung wan Park, Jong Wha

ABSTRACT

As polymer concrete become more widely used by design engineers, it is important that the viscoelastic mechanical behavior of these materials is properly taken into account. Also, an important consideration in the design of polymer concrete is the behavior of creep according to ages of polymer concrete. In this study, flexural creep test was performed on recycled-PET polymer concrete. An method of accelerating the flexural creep tests, called the two-point method, was developed. The two-point method uses the results of three 24-hours creep tests performed at elevated temperatures to develop a Prony series equation that predicts the long-term creep strains at room temperature.

The test results demonstrated that two-point method can predict long-term creep strain with sufficient accuracy. The difference between the predicted creep compliance values from those obtained experimentally was less than 5 percent.

1. 서론

최근, 급속한 산업 발전으로 각종 폐기물로 인한 환경파괴가 심각해지는 가운데 지속가능 개발형, 친환경 건설소재에 대한 연구가 절실히 요구되고 있다. 이중 콘크리트 대체용으로 건설산업분야에서 많은 관심을 불러일으키고 있는 폴리머 콘크리트는 우수한 재료적 특성으로 건설 구조물에 대한 응용 연구가 활발히 이루어지고 있다. 폴리머 콘크리트의 종류 중 폴리머와 골재를 혼합하여 제조되는 폴리머 콘크리트는 기존의 시멘트 콘크리트에 비해 조기강도 발현, 수밀성, 내식성, 내약품성 및 동결융해 저항성이 뛰어날 뿐 아니라, 압축, 인장 및 휨강도가 우수한 것으로 보고되고 있다. 폴리머 콘크리트의 주성분인 액상레진은 결합재로써 불포화 폴리에스터 수지가 많이 사용되고 있다. 본 연구에서 사용한 수지는 폐합성수지 중 하나인 폴리에틸렌 테레프탈레이트(PET)로써 플라스틱 용기나 탄산음료병과 같은 것을 자원재활용하여 생산된 수지이다. 이러한 수지를 이용한 폴리머 콘크리트를 구조적 부재로 활용하기 위한 재료적 연구는 조금 이루어지고 있으나, 수지의 특성이 고려된 시간의존적 거동, 즉 지속하중을 받는 크리프와 같은 연구는 아직 미흡한 실정이다. 크리프와 같은 장기 지속하중을 받는 구조부재의 거동을 파악하는 연구는 필수적이며, 구조부재 검토시 반드시 이루어져야 할 부분이다. 그러나, 크리프거동은 단기간의 거동이 아닌 장기간의 실험기간이 소요되고 그 특성 파악도 많은 노력이

* 정회원, 부천대학 토목과 교수, 공학박사
** 정회원, 한양대학교 토목공학과 교수, 공학박사
*** 정회원, 현대건설 부장, 구조기술사, 한양대학교 토목공학과 박사과정

필요하다. 본 연구에서는 크리프 실험을 이용하여 PET 재활용 폴리머 콘크리트의 크리프 모델을 제시하여 향후 설계에 반영할 수 있는 기초자료를 제시 함에 그 목적이 있다.

2. 크리프 실험

2.1 개요

크리프 실험을 통하여 폴리머 콘크리트의 시간-의존적 모델을 평가하기 위하여 실험을 실시하였고, 폴리머 콘크리트 재료는 결합재료 C사에서 제조된 폐 PET(polyethyleneterephthalate) 재활용 불포화 폴리에스테르 수지를 사용하였으며, 골재는 수분함유량을 0.5%이하로 줄이기 위해 100℃에서 24 시간동안 건조시켜 사용하였다. 폴리머 콘크리트의 경우, 콘크리트 타설 후 30분~1시간 이내에 경화되기 시작하여, 7일 이내에 강도발현이 이루어진다. 크리프 실험 시 양생조건은 공기 중 양생으로 7일간 실시하였고, 이대 대한 압축 및 인장강도 결과를 표 5에 나타내었으며, 크리프 시험 시 7일의 재령으로 실시하였다. 휨 크리프에 대한 실험은 따로 규정되어 있지 않은 관계로 KS F 2419의 규정에 준하여 휨 강도용 공시체 100mm×100mm×400mm를 제작하여 변형률 및 변위를 측정하였다. 이에 사용된 재활용 PET(polyethyleneterephthalate) 폴리머 콘크리트의 재료적 성질들을 나타내면 표 1~4와 같고, 가해진 하중에 대한 응력비는 크리프 파괴를 피하기 위하여 표 5과 같이 극한 휨 강도 결과의 20%로 실시하였다.

표 1. 재활용 PET 폴리머의 재료적 특성

Specific gravity (20℃)	Viscosity (mPas)	ACID Value (mg KOH/g)	Styrene content (%)	Non Volatile Materials (%)
1.13	1300	5	37	63

표 2. 폴리머 콘크리트 배합비(unit: wt, %)

Binder			Filler	Coarse aggregate	Fine aggregate
UP+ST	SRA	Initiator			
11	2	1.0	12	30.2	43.8

UP: Unsaturated polymer resin, ST: Styrene monomer, S.R.A: Shrinkage reducing agent

표 3. 탄산칼슘(CaCO₃)의 재료적 특성

-	Specific gravity	Fineness (cm ² /g)	Moisture (%)	PH	Absorption (%)
CaCO ₃	2.7	2,500~3,000	0.3	8.8	0.1

표 4. 골재의 재료적 특성

-	Size (mm)	Density (g/cm ³)	Bulk density (g/cm ³)	Ratio of Abrasion(%)	Unit volume weight (kg/m ³)	Fineness modulus	Absorption (%)
Coarse	≤ 13	2.60	2.61	10.7	14,700	6.42	0.7
Fine	≤ 6	2.63	2.6	-	16,121	2.48	0.44

표 5. 재활용 PET(polyethyleneterephthalate) 폴리머 콘크리트의 압축, 인장 및 휨 강도

-	Description	Compressive strength(Mpa)	Tensile strength (Mpa)	Flexural strength (Mpa)
Polymer Concrete	Recycled-PET polyester	117.8	22	103.25
		115.2	21.5	105.14
		116.2	22.3	100.70

2.2 실험방법

일반적으로 휨크리프에 대한 규정은 제시되어 있지 않으므로, 압축크리프 시험방법인 ASTM C 512 규정을 참조하여 휨을 받는 상태로 제작하여 실시하였다.(그림 1) 실험 시 온도를 일정하게 유지하였으며, 각 변수마다 총 4개의 실험체를 제작하여 하중을 재하시키고, 온도와 수축변형을 측정하였다. 휨에 의한 인장과 압축변형율을 측정하기 위하여 부재 중앙 상·하부에 콘크리트 게이지를 부착하였고, 다음 그림 2와 같이 지지판과 정방향 막대를 이용하여 부재의 변위를 측정하였다. 또한, 단기간의 휨 크리프 실험으로 장기간의 거동을 예측할 수 있는 방법을 제안하기 위하여 20℃, 25℃, 30℃에서의 24시간의 크리프 실험을 실시하여, 그 결과를 장기 크리프 실험과 비교하였다 [Xiaoming, 2001].

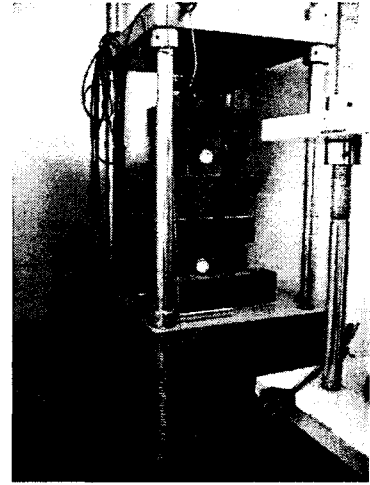


그림 1 휨 크리프 실험

3. 실험결과

폴리머 콘크리트에 대한 휨 크리프 실험 결과 20℃의 온도조건에 대하여 다음 그림2와 같이 나타났다. 시간에 따른 변형 후 하중제거에 따른 릴락세이션 거동을 보이는 콘크리트의 경우와 양상이 비슷한 것으로 나타났다. 일정한 하중과 온도조건에서의 거동을 토대로 다음 식(1)와 같이 시간과 온도와 응력에 대한 항으로 가정하였으며, 식(1)의 각 항에 대하여 수치해석을 실시하였다.

수치해석 결과, 실험에 의한 결과를 잘 반영하는 것으로 나타났으며, 실험적인 모델이라 할 수 있다. 폴리머 콘크리트는 일반 콘크리트와 달리 수분에 의한 영향을 받지 않기 때문에 온도와 응력의 영향이 크리프 모델에서 주된 고려사항이다. 따라서 본 연구에서는 응력의 조건을 고정하고 온도를 변수로 매개변수를 산정하였고, 반복적으로 온도를 고정하고 응력을 변수로 값을 산정하여 조합하는 식(2)와 같이 제안하였다.

$$\varepsilon = At^m \exp^{nT} f \quad (1)$$

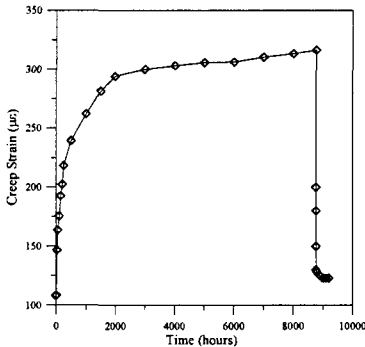


그림 2 폴리머 콘크리트 휨크리프 실험결과(20℃)

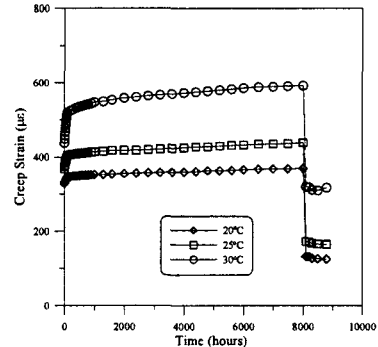
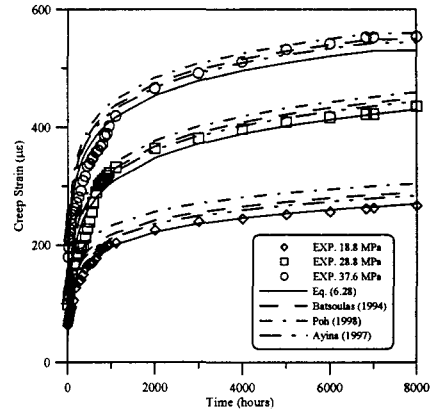
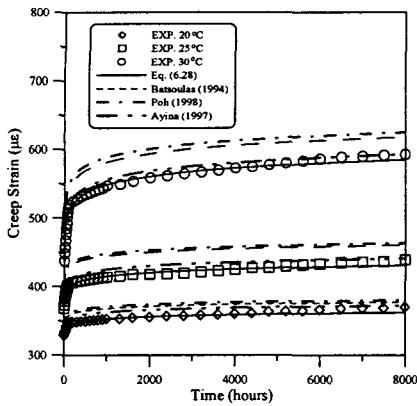


그림 3 폴리머 콘크리트의 온도변수에 따른 크리프 변형

$$\varepsilon = (7.468681E^{-8} + 5.259830E^{-7} t^{0.1302557}) \exp\left(\frac{T}{36.186}\right) f \quad (2)$$



4. 결론

본 연구는 재활용된 PET(polyethyleneterephthalate) 폴리머 콘크리트의 크리프에 대한 실험을 통하여 폴리머 콘크리트의 크리프 모델을 제시하기 위한 논문으로 이에 연구된 결과를 종합하면 다음과 같다.

- 1) 폴리머 콘크리트의 크리프 변형과 릴락세이션 변형은 일반 콘크리트와 동일하게 그 양상은 비슷한 것으로 나타났다. 따라서, 수분의 영향을 제외하면 온도와 응력의 향으로 모델을 가정할 수 있는 것으로 판단되었다.
- 2) 제안된 크리프 모델은 실험적 모델로써 폴리머 콘크리트의 점탄성 거동을 잘 반영하는 것으로 나타났으나, 릴락세이션의 영향을 고려한 모델은 추가 연구가 필요한 것으로 생각된다.
- 3) 이에 대한 결과를 토대로 실험적인 모델 이외에 역학적인 파라미터를 이용한 모델 연구가 필요할 것으로 생각된다.

참고문헌

1. 김진근(1992) 고강도 콘크리트의 재료 역학적 특성 연구, 한국콘크리트학회 봄학술발표회 논문집, 제4권, 제2호, pp. 111~118.
2. Alkonis, J.J., Macknight, W.J,(2002) Introduction to Polymer Viscoelasticity, Wiley-Interscience, John Wiley & Sons, Inc., New York,
3. C.M.L. Tavares, M.C.S. Ribeiro, A.J.M. Ferreira, R.M. Guedes,(2002) Creep Behavior of FRP-Reinforced Polymer Concrete, Composite Structures, Vol.57, pp. 47~51.
4. Xiaoming Sharon Huo, Nabil Al-Omaishi, and Maher K. Tadros,(2001), Creep, shrinkage, and Modulus of Elasticity of High Performance Concrete, ACI Material Journal, Vol.98, No.6, pp.440~449.
5. Salah A. Altoubat and David A. Lange,(2001), Creep Shrinkage, and Cracking of Restrained Concrete at Early Age, ACI Material Journal, Vol.98, No.4, pp.386~393.