

PET재활용 고강도 폴리머 콘크리트보의 휨거동에 관한 연구

A Study on Characteristics of Flexural Behavior of High-strength Polymer Concrete Beams Using Recycled PET

조병완* 박종화** 박승국** 배성완***
Jo, Byung-Wan Park, Jong-Hwa Park, Seung-Kook Bea, Sung-Wan

ABSTRACT

The polymer concrete is drawing a strong interest as high-performance materials in the construction industry. Resins using recycled PET offer the possibility of a lower source cost of materials for making useful polymer concrete products. Also the recycling of PET in polymer concrete would help solve some of the solid waste problems posed by plastics and save energy. Polymer concrete beams using unsaturated polyester resins based on recycled polyethylene terephthalate (PET) plastic waste were used in our study for grasping its structural behavior of static and fatigue. As a result of static test, Compression stress distribution of Polymer concrete indicates linear behavior such as triangles. Although polymer concrete is high strength materials, its ductility capacity is excellent. From the fatigue test results, There was almost no difference on flexural characteristics between before and after fatigue loading. Therefore, recycled PET polymer concrete remains excellent structural ability after fatigue loading.

Keywords : Polymer Concrete(PC), Recycled PET, Flexure, Fatigue,

요 지

폴리머 콘크리트는 시멘트 콘크리트에 비해 강도와 내구성에 탁월한 성능을 가지고 있기 때문에 건설현장에서도 다양한 용도로 개발되어 널리 사용되고 있다. 그러나 폴리머 콘크리트는 그 결합재로 쓰이고 있는 수지의 비용이 높아 PET를 재활용하여 콘크리트를 제조하면 제조 단가를 감소시킬 수 있고, 환경파괴 및 환경오염의 방지에도 대처 할 수 있는 장점이 있다. 따라서, 본 연구에서는 폐 PET를 합성한 불포화 폴리에스터 수지를 폴리머 콘크리트의 결합재로 이용하여 폴리머 콘크리트보를 제조하였으며 기본 구조적 거동을 파악하기 위하여 정적 휨 시험 및 피로 시험을 실시하였다. 그 결과 정적 시험시 압축응력 분포는 거의 삼각형의 선형적 분포를 나타내었으며, 연성 능력도 우수하게 나타났다. 그리고 피로시험결과 극한 하중값 및 처짐값 등이 정적시험만 실시한 경우와 유사하게 나타난 것으로 보아 PET 재활용 폴리머 콘크리트 보는 우수한 휨 거동 특성을 그대로 유지하는 것으로 나타났다.

핵심용어 : 폴리머 콘크리트(PC), 재활용 PET, 휨, 피로

* 정회원 · 한양대학교 공과대학 토목공학과 교수

** 한양대학교 대학원 토목공학과 박사과정

*** 한양대학교 대학원 토목공학과 석사과정

1. 서 론

폴리머 콘크리트는 시멘트 콘크리트에 비해 강도와 내구성에 우수한 성능을 가지고 있기 때문에 건설현장에서 다양한 용도로 개발되어 널리 사용되고 있다. 그러나 폴리머 콘크리트는 그 결합재로 쓰이고 있는 수지의 비용이 높아 경제적인 면에서는 다소 불리하여 PET를 재활용한 폴리머 콘크리트를 제조하여 제조 단가를 절감하기 위한 노력을 하고 있다.(Fowler, 1992) PET를 재활용한 폴리머 콘크리트는 환경파괴 및 환경오염의 방지와 산업 폐기물을 재활용하여 경제적인 건설 신소재를 개발할 수 있어 각종 환경 규제 속에 대처할 수 있는 훌륭한 방안이다. 현재까지 일반 시멘트 콘크리트에 대한 정적 하중 상태하에 있는 철근 콘크리트 보의 휨 및 피로 특성은 비교적 잘 규명 되어져있으나 철근보강 PET 재활용 폴리머 콘크리트보의 휨 거동 및 피로특성에 관한 연구는 아직 미흡한 실정이다. 따라서, 본 연구에서는 구조부재로의 응용과 자원의 재활용을 목적으로 PET 재생 불포화 폴리에스터 수지를 이용하여 철근 보강한 폴리머 콘크리트보를 제조하고, 이에 대한 정적 휨 실험 및 휨 피로시험을 통하여 정적 및 피로 하중 상태에서의 PET 재활용 폴리머 콘크리트의 특성을 파악하여 다양한 구조 부재로서의 사용 가능성을 검토 하는 것을 목적으로 하였다.

2. 실험 개요

2.1 실험방법

2.1.1 실험재료

(1) PET 재생 불포화 폴리에스터 수지

본 실험에서는 코발트계 경화 촉진제가 첨가되어 있는 C사의 제품을 사용하였다.

(2) 개시제(Initiator)

PET 재생 불포화 폴리에스터 수지가 경화되려면 경화 촉진제와 개시제가 첨가되어야 하며 촉진제가 첨가된 수지는 개시제만 첨가되면 경화반응이 일어난다. 개시제는 메틸에틸케톤퍼옥사이드(MEKPO)를 사용하였다.

(3) 수축 저감제

폴리머 콘크리트가 구조 부재로 사용될 경우 수축에 의한 균열이 예상되어 이를 방지하기 위하여 A사에서 제조된 수축저감제를 사용하였다.

(4)골재(Aggregate)

K사의 제품으로서 굵은골재는 쇄석을, 잔골재는 규사를 사용하였으며 골재의 수분 흡수는 수막을 형성시켜 결합재와 골재간의 접착력을 약화시키므로 함수량이 0.1%이하가 되도록 건조한 후 다시 상온으로 냉각시켜 제작된 제품이다.

(5) 충전재(Filler)

본 연구에서는 가격이 저렴하고 구입이 용이할 뿐만 아니라 큰 비표면적을 가진 중탄산칼슘을 충전재로 사용하였다.

(6) 철근

본 실험에서 사용된 철근은 KSD 3504에 규정되어 있는 이형철근을 사용하였다.

2.1.2 실험체 제작

실험에 사용된 철근 보강폴리머 콘크리트 부재는 단면치수 16cm×24cm로 압축철근 2-H13, 인장철근 2-H19, 길이 190cm로 순지간길이 160cm인 장방향 단철근보로 설계하여 실험하였다. 또한 전단 파괴를 방지하기 위하여 전단 보강은 H13 철근을 10cm간격으로 배근하였다. 실험체는 정적 실험용 1개, 피로실험용 3개를 제작하였다. 또한 철근비는 0.015로 하였고, 압축강도 및 조임인장강도 측정용인 $\phi 7.5 \times 15$ cm 원주형 공시체를 각 실험체별로 3개씩 제작하였다. 각 실험체의 형상 및 철근 배근위치는 Fig Fig 1와 같고, 실험체 상세 계획은 Table 3에 나타내었다

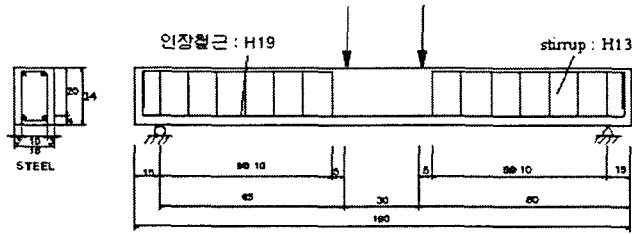


Fig. 1 Details for Test Specimens

Table 3 Details for Test Beams

실험부재의 종류	보강 재료	정적 실험체	피로실험체 (Mark)		
			$S_{max}/S_u = 60\%$	$S_{max}/S_u = 70\%$	$S_{max}/S_u = 80\%$
Steel Reinforecd	인장 2-H19	SS	SF- I	SF- II	SF- III

※Mark - S : Steel Reinforced, S : static test, F : fatigue test

3. 실험 결과

3.1 정적 실험

3.1.1 압축 및 쪼갬 인장강도

폴리머 콘크리트는 일반 시멘트 콘크리트와는 달리 재령 7일 강도가 최고 발현 강도의 80~90%를 나타낸다. 따라서, 7일 강도를 기준으로 압축 및 쪼갬인장강도 실험을 실시하였다. 평균 압축강도는 86MPa로 나타났고, 쪼갬 인장강도는 11.5MPa로 나타났다.

3.1.2 균열 양상 및 파괴

Fig 8에서는 정적 실험용 실험체의 하중 단계별 균열도를 나타내었다. 정적 실험시 최초 균열 하중은 약 72KN에서 발생하기 시작하였으며, 보의 중앙부 휨구간 인장측에서 최초 발생하였다. 이후 양옆으로 좌우 대칭이 되게 균열이 발생하여 압축측의 수직 방향으로 균열이 계속하여 진전해나갔다. 이후 극한하중인 183KN에 도달 할 때까지 인장 철근이 항복된 후 철근의 변형만 일어나다가 콘크리트 압축측에서 파괴되는 양상을 나타내었다.

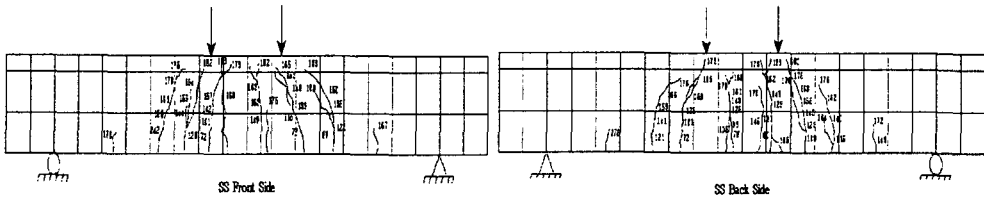


Fig. 8 Crack patterns of recycled PET polymer concrete beams

3.2 피로 실험

PET 재활용 폴리머 콘크리트보의 피로특성을 실험적으로 규명하기 위하여 정적실험을 실시한 것과 같은 배합비의 실험체에 대하여 피로 실험을 실시하였다. 최저 응력수준과 최고응력수준의 비율인 응력비는 $R=0.1$ 으로 일정하게 하였다. 피로실험 결과를 Table 5에 나타내었다. 여기서 S는 정적극한하중과 최대반복하중의 비율, N_u 는 부재의 파괴시 반복 횟수, P_{max} 는 최대반복하중, P_{min} 는 최소반복하중, P_{fc} 은 초기 휨균열하중을 나타내었다.

Table 5 Fatigue test results

Name of beams	P_{min} (KN)	P_{max} (KN)	Min Stress (MPa)	Max Stress (MPa)	N_u	P_{fc} (MPa)
SF- I	11	110	2.42	24.2	>2,000,000	72
SF- II	12.8	128	2.61	26.1	1,357,500	75
SF- III	14.6	146	3.21	32.1	263,250	70

4. 결 론

1. 정적 실험시 하중에 따른 처짐 및 철근 변형률과 모멘트-곡률 관계에서 재하 초기에는 극한 하중의 약 80%수준까지 선형적인 탄성거동을 보였으며, 항복하중에 도달함에 따라 곡선이 비탄성적으로 변화하였다. 이 값은 고강도 시멘트 콘크리트의 탄성영역과 유사한 값을 나타내었다.
2. 정적 실험시 다양한 하중 단계에 따른 위치별 콘크리트 응력 분포를 살펴 본 결과 하중이 낮은 수준에서부터 극한 하중에 이르기까지 거의 선형적인 삼각형 분포를 나타내었다. 또한 중립축은 재하 초기에는 중립축의 이동이 거의 없다가 휨 균열이 형성되고, 철근이 항복점 근처에 다다르면서부터 급격히 중립축의 높이가 높아지면서 파괴점에 도달함에 따라 압축축으로 계속 이동하였다.
3. 피로 실험시 최대반복하중이 극한하중의 60% 수준일때는 2백만회에서도 피로 파괴를 일으키지 않았으며 반복횟수가 증가함에 따라 처짐 및 철근과 콘크리트 변형률이 일정한 진동폭으로 꾸준히 탄성범위내에서 증가하는 것으로 나타났다.
4. 최대 반복하중이 극한 하중의 70%, 80%수준 일때는 각각 263,250, 1,357,500회에서 각각 피로 파괴를 일으켰으며, 철근과 콘크리트 변형률이 재하 초기에 비교적 큰 변화를 보이고 반복횟수가 증가할수록 일정한 변동폭으로 지속적으로 증가하다가 부재가 항복 상태에 이르면서 그 변형률이 크게 증가하여 피로 파괴를 나타내었다.
5. 피로하중을 받은 실험체와 받지 않은 실험체의 정적 휨 실험 결과 극한 하중 및 변형률 값이 거의 유사하게 나타나 피로하중을 받은 후에도 PET재활용 폴리머 콘크리트 보는 우수한 휨 거동 특성을 유지하는 것으로 판단된다.

참고 문헌

- 1..ACI Committee 548 (1997), Guide for the Use of Polymers in Concrete, American Concrete Institute,
- 2.K. S. Rebeiz, David W. Fowler,(1996) Flexural Strength of Reinforced Polymer Concrete Made with Recycled Plastic Waste, ACI Structural Journal, Vol.93, pp. 524~530,
- 3.Rebeiz, K. S. Fowler, D. W., Paul, D. R.(1992) Polymer Concrete and Polymer Mortar Using Resins Based on Recycled Poly(ethylene Terephthalate), Journal of Applied Polymer Science, Vol.44, pp. 1649~1655
- 4.Lesile, K. E., Rajagopalan, k. S, Everad, N. J., (1976) Flexural Behavior of HSC Beams, ACI journal Proceeding, Vol. 73, pp. 517~521