

복합소재 해상파일 모델의 휨압축 거동특성

이 성우* · 손 기훈** · 김 성태*** · 조 남훈****

Flexure-Compression Characteristics of Composite Marine Pile

Sung Woo Lee, Ki Hoon Sohn, Sung Tae Kim and Nam Hoon Cho

Key Words: composite pile, GFRP, flexure, compression, experiment, P-M diagram

Abstract

Due to many advantage of advanced composite materials, researches on the composite marine pile is initiated. In this paper, structural characteristics of concrete filled glass fiber reinforced plastic (GFRP) composite pile model are studied. Through 4-point flexural test with various level of axial force, the performance of composite pile model was analyzed. Also numerical method to find P-M interaction diagram of composite pile was developed. It is showed that result of numerical method agrees well with experimental results, thus it is anticipated that numerical procedure can be utilized for design purpose.

기호설명

1. 서 론

강재의 부식과 철근콘크리트의 열화로 인한 노후화는 구조물의 내구성 저하와 유지관리 비용의 상승을 유발하므로 이러한 문제를 근원적으로 해결할 수 있는 복합소재를 건설분야에 이용하려는 연구가 활발히 진행되고 있다.^[1] 본 연구에서는 경량 내부식 고강도 특성을 보유한 유리섬유를 이용하여 고부식 해양환경 하에서 기존 재료의 문제점을 극복할 수 있는 복합소재 해상파일개발의 모델에 대해 단주압축실험, 휨실험, 휨-압축실험을 수행하고, 이를 설계내력과 비교분석하였다.

2. 제작방법 및 내력설계

2.1 제작방법

복합소재 모델파일의 제작은 휨에 효과적으로 저항할 수 있게 축방향과 일치하는 방향으로 유리섬유 직포를 배치하였고, 원주방향에는 압축력에 효과적으로 저항하도록 필라멘트 와인딩 성형 공정으로 유리섬유를 배치하였다. 복합소재 모델파일은 제작된 복합소재 튜브에 설계강도 420kg/cm²의 균지 않은 콘크리트를 충전한 후, 28일간의 양생과정을 거쳐 완성하였다.

복합소재 모델파일의 내력설계를 위하여 국내에서 실험이 가능한 압축부재의 현실적 크기를 감안하여, SPS400 강재를 사용한 KS D3566 일반구조용 탄소강관을 목표 강관파일로 선정하였다. 목표강관파일의 단면성질과 물성치는 표 1과 같으며, 목표강관파일과 복합소재 모델파일의 추정 설계내력은 표 2와 같다.

* 국민대학교 건설시스템 공학부 교수· 공학박사

** 국민대학교 건설시스템 공학부· 박사과정

*** 건설기술연구원 위촉연구원· 공학석사

**** 국민대학교 구조안전 연구소 연구원· 공학석사

표1 목표강관파일(SPS400)의 단면성질과 물성치

외경 (O.D)	165.2 mm
강관두께	5.65 mm
단면적	28.32 cm ²
단면 2차 모멘트 I	902 cm ⁴
인장강도 f_u	4100 kg/cm ²
항복강도 f_v	2400 kg/cm ²
허용강도 f_a	1400 kg/cm ²
탄성계수 E_s	2.1×10^6 kg/cm ²

3. 구조성능 실험

3.1 단주압축강도 실험

단주압축강도 실험은 5개의 복합소재 모델파일 합성압축 공시체를 제작하여 실험하였다. 실험에는 최대하중 500ton의 용량을 갖는 Instron사의 장비를 사용하였고, 변위조건을 이용한 하중 재하속도는 0.5mm/min였다. 직경대 높이비 1:2의 합성압축 공시체 중앙부에 변형을 측정계이지를 부착하여 축방향 변형률과 횡방향 변형률을 측정하였다. 그림 1은 합성압축 공시체 압축강도 실험 모습을 보여주고 있다.

그림 2에서와 같이 합성압축 공시체의 파괴모드는 초기 탄성계수가 큰 1차영역과 연성이 증가하며 서서히 콘크리트 구속효과가 발휘되는 2차 영역으로 구분되었다. 구속효과의 발생은 충전 콘크리트 파괴응력의 80%정도인 약 400kg/cm²부근에서 시작되었다. 실험결과 복합소재 튜브의 구속효과로 인해 합성압축 공시체의 압축강도는 일반 콘크리트 공시체 압축강도의 1.96~2.36배로 증가하는 것을 알 수 있었으며, 변형률은 최종 파괴시 일반 콘크리트 공시체의 5.28~7.00배로 연성이 크게 증가하였다.

그림 3에서는 합성압축 공시체의 응력변형률

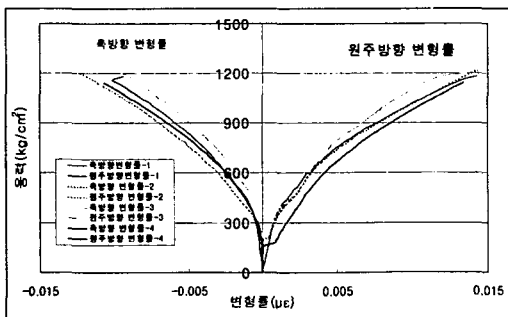


그림2 응력-변형률 곡선

표2 목표 강관파일과 복합소재 모델파일의 추정설계 구조내력 비교

구분	목표	복합소재
	강관파일	모델파일
두께(mm), Vf 30%	5.65	8.03
추정설계휨내력(kg·cm)	261,600	277,748(1.06)
추정설계 압축내력(kg)	68,000	137,286(2.02)
추정설계 전단내력(kg)	19,635	51,396(2.62)

()안의 수치는 목표 강관파일 내력 대비

실험곡선과 해석에 의한 추정곡선을 비교도시하였으며 서로 잘 근접하는 것을 알 수 있었다.

3.2 휨실험

복합소재 모델파일 2개의 순수 휨 성능 실험을 수행하였다. 그림 4의 실험모사도와 그림 5의 실험모습에서 나타난 것과 같이 실험은 단순 지지 4점재하 순수 휨 실험으로 하였으며, 중앙부 하단과 재하점 하단의 처짐과 중앙부의 압축부와 인장부의 변형률을 계측하였다. 그림 6과 그림 7에 휨하중에 대한 중앙부 상하단의 모멘트-응력 곡선과 모델파일들의 중앙부 하단의 하중-처짐 곡선을 도시하였다.

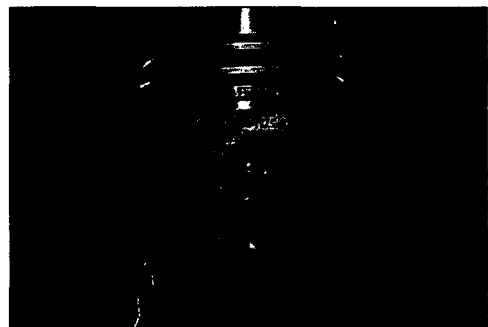


그림1 단주 압축강도 실험모습

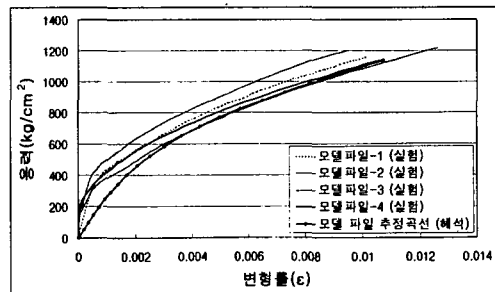


그림3 응력-변형률곡선의 실험치와 추정치 비교

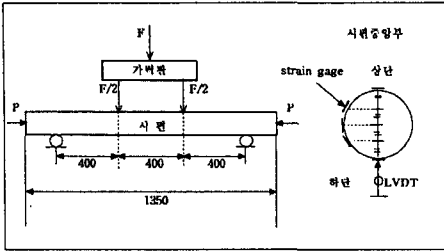


그림4 순수 휨실험 및 휨-압축 실험 모사도



그림5 순수 휨실험 및 휨-압축 실험모습

휨성능 실험결과 주된 파괴모드는 인장부의 내부 층진 콘크리트의 파괴에 이은 유리섬유 복합소재의 인장파괴양상을 보였다. 전체적으로 설계내력계산식에서 예상한 것보다 콘크리트에 더 큰 구속효과가 발생한 것을 알 수 있었다.

3.3 휨-압축실험

복합소재 모델파일의 휨-압축 거동을 평가하고 이론치와 비교하기 위하여 7개의 실험모델에 대한 휨-압축 실험을 실시하였다. 모델파일의 휨-압축 파괴양상은 인장 및 압축에 의해 지배되는 두 가지 경우로 나누어 실험하였다. 그림 8에는 복합소재 모델파일(P-6)의 파괴모습과 그림 9에는 휨 하중에 따른 중앙부 하단의 처짐 곡선을 나타내었다. 실험모델 P-1~P-5에서 하부의 인장

파괴가 발생하였다. 3.2의 휨실험과 같이 최종 휨강도는 인장측 유리섬유 복합소재의 파단에 의해서 정해졌다. 실험모델 P-6~P-7에서 상부의 압축파괴가 발생하였다. 내부의 콘크리트는 구속효과 발생으로 큰 압축력을 발휘하다가 파괴에 이른 후에 최종적으로 유리섬유 복합소재가 압축파괴 되었다. 그림 10과 그림 11에는 압축파괴를 보이는 모델파일(P-6)의 하중 응답곡선을 보이고 있다. 표 3에는 최종 파괴시 모델파일에 대한 각각의 하중과 모멘트를 나타내었다.

모든 실험 하중조건에서 휨하중이 증가함에 따라 하중-변위곡선의 기울기가 점차 감소하다가, 파괴하중에 근접시에는 기울기가 매우 작아지는 연성파괴의 양상을 보였다. 보다 상세한 내용은 참고문헌 [2]를 참조하기 바란다.

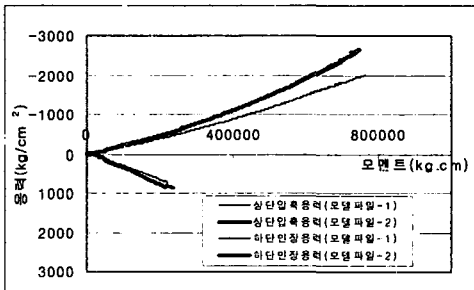


그림6 모멘트-응력 곡선



그림8 휨-압축 실험을 통한 복합소재 모델파일 (P-6)의 파괴모습

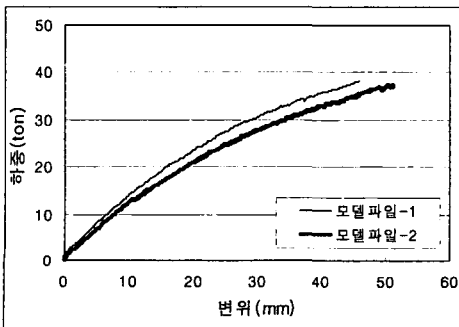


그림7 중앙하단의 하중-처짐 곡선

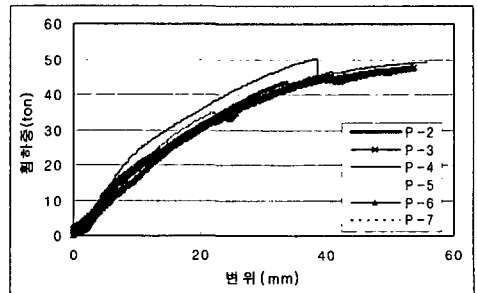


그림9 중앙부 하단 처짐비교

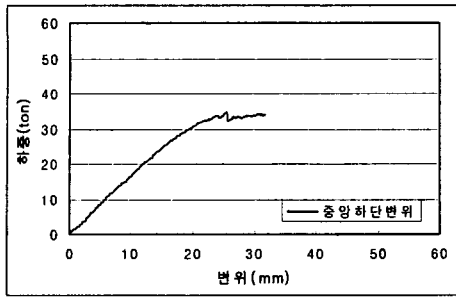


그림 10 휨하중-변위 곡선(P-6)

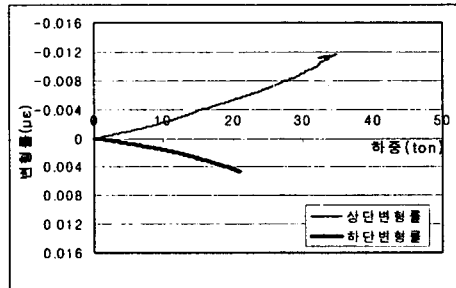


그림 11 하중-변형률 곡선(P-6)

3.4 복합소재 모델파일의 P-M 상관도

축력과 휨을 동시에 받는 복합소재 모델파일의 내력은 P-M 상관도를 통하여 나타낼 수 있다.^{[1],[2]} 모델파일에 대한 실험결과와 이론적 수치해석으로 구해진 P-M상관도를 비교해보면 그림 12와 같다. 해석된 순수 압축내력은 실험치의 96%이고 순수휨내력은 실험치의 105%로 나타났으며 중간 값들도 수치해와 실험치가 잘 근접함을 알 수 있었다.

4. 결론

1. 유리섬유 복합소재 튜브를 제작하여 콘크리트를 충전한 복합소재 모델파일의 하중에 의한 거동은 복합소재 튜브와 콘크리트의 구속효과로 인해 강도가 크게 증가하는 것을 알 수 있었다.
2. 복합소재 모델파일은 단주압축 파괴시와 휨-압축파괴시에서 모두 연성적인 파괴양상을 보임을 알 수 있었다.
3. 수치해석적 방법으로 제안한 P-M상관도와 모델파일의 실험치가 서로 잘 근접하여, 본 연구에서 제시된 수치해석적 이론식을 통해 복합소재 모델파일의 응력변형을 곡선과 휨-압축거동의 예측이 가능함을 확인하였다.

표3 모델파일의 최종 휨-압축 파괴실험결과

실험모델	초기재하 축력(kg)	파괴시 축력(kg)	파괴모멘트 M(kg·cm)
P-1	20,000	23,980	936,938
P-2	30,000	34,390	944,693
P-3	60,000	40,850	951,428
P-4	80,000	43,530	943,877
P-5	100,000	58,940	1,006,122
P-6	120,000	119,810	683,469
P-7	140,000	136,150	700,000

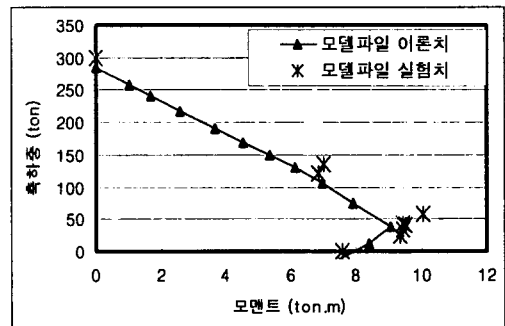


그림 12 복합소재 모델파일 P-M상관도의 수치해석치 대 실험치 비교

4. 차기년도 연구에서 시제품 파일에 대한 제작 및 실험을 통해 실용화 방안을 제시할 예정이다.

감사의 글

본 연구는 해양수산부의 지원으로 수행되고 있으며, 해양수산부의 연구지원에 감사 드립니다.

참고문헌

1. Mirmiran, A. (1997), FRP-concrete composite column and pile jacket splicing-phase II, Final Report, Contract No. B-9895, Florida Department of Transportation. Tallahassee, Fla.
2. 이성우 외(2000) 고내구성 신소재해상파일 개발연구(II), 연구보고서, 국민대학교 구조안전연구소