

## 폼 충전 FRP 바닥판의 교축방향 피로 실험

### The Fatigue Behavior in Weak Axis of FRP Bridge Deck Filled With a Foam

지광습\* · 정진규\*\* · 황윤국\*\*\* · 이영호\*\*\*\*

Zi, Goangseup · Jung, Jin-kyu · Hwang, Yoon Koog · Lee, Young Ho

#### 1. 서 론

섬유강화 플라스틱(FRP)을 이용한 교량바닥판은 강재와 달리 내식성이 우수하고, 프리캐스트화가 가능하여 시공성을 향상시킬 수 있다. 또한 철근콘크리트 바닥판에 비해 고정하중이 작아 단면의 슬립화를 이룰 수 있고, 최소의 유지관리로 생애주기비용을 절감하는 효과를 낼 수 있다. 따라서 최근 선진국에서는 FRP를 교량바닥판에 적용하는 연구가 급격히 증가하고 있고, 실제 도로교에 적용하는 사례도 있다.

한국건설기술연구원에서는 FRP 중공 교량 바닥판을 개발하였고, 이에 대한 성능검증과 실용화 연구를 진행하고 있다(한국건설기술연구원, 2005; Park. K. T 외, 2005). 최근에는 FRP 바닥판의 이방성 특성으로 인해 교축(이하 약축이라 칭함)방향의 파괴거동과 그 메카니즘에 대한 연구가 진행되었다(지광습 외, 2006)

본 연구에서는 기 개발된 중공 FRP 바닥판과 이의 약축방향 거동 개선을 위해서 제안된 내부충진 FRP 바닥판에 대하여, 피로특성을 비교·검토하고 피로강도를 규명하였다.

#### 2. 실험개요

표 1. 실험체 분류 및 실험결과

실험체 구분	재하속도 (Hz)	최대하중 (kN)	최소하중 (kN)	하중범위		반복횟수 (회)	
				(kN)	(%)		
중공	AH-F64	2	5.89	1.40	4.49	64	7800
	AH-F55	2	5.26	1.40	3.86	55	103500
	AH-F47	2	4.70	1.40	3.30	47	966000
충진	AFH-F70	2	16.74	1.40	15.34	70	21000
	AFH-F64	2	15.43	1.40	14.02	64	42400
	AFH-F55	2	13.45	1.40	12.05	55	19300

본 실험을 통해 궁극적으로 구조물의 피로수명을 예측하기 위해 필요한 S-N선도를 얻었으며, 각각의 실험체의 크기는 동일하고, 표 1과 같이 총 6개의 실험체 중 3개는 중공보, 3개는 폼 충전된 보를 사용하였다. 충전한 폼은 경질 우레탄 폼(Rigid Polyurethane Foam)을 사용하였으며,  $80kg/m^3$ 의 밀도로 충전하였다.

적절한 반복횟수마다 의사정적실험을 실시하여 컴플라이언스(Compliance)의 변화를 관찰하였다. 의사정적 실험은 변위제어방식을 사용하여  $0.10mm/sec$ 의 속도로 3점 재하하였으며, 피로실험은 하중제어방식을 사용하여 표 1과 같이 2Hz의 속도로 정현파를 따라 실험체가 완전히 파괴 될 때까지 허용범위 내에서 하중을 재하하였다. 또한 열적외선 장비를 활용한 써모그래피(Thermography) 기법을 사용하여 균열발생에 따른 실험체 각 부위의 온도변화를 확인하였다.

\* 정희원 · 고려대학교 사회환경시스템공학과 조교수 · 공학박사 · E-mail: g-zi@korea.ac.kr

\*\* 고려대학교 사회환경시스템공학과 석사과정 - 발표자

\*\*\* 정희원 · 한국건설기술연구원 구조연구부 수석연구원 · 공학박사

\*\*\*\* 정희원 · 한국건설기술연구원 구조연구부 선임연구원 · 공학박사

### 3. 실험결과 및 분석

#### 3.1 중공 FRP 보

중공 FRP보의 피로실험 결과를 표 1에 요약하였으며, 실험진경 및 파괴 메카니즘은 그림 1에 나타내었다. 각 실험체의 하중범위와 파괴시의 반복횟수를 대수좌표(Logarithmic Coordinates)에 도시한 S-N선도는 그림 2와 같고, 이는 세 점을 선형회귀분석(Linear Regression)하여 나타낸 것이다. 식 (1)은 이 직선에서 유도된 중공 FRP보의 피로강도 추정식이다.

$$\Delta P = 8.00 \times N^{-0.064} \quad (1)$$

여기서,  $\Delta P$ 와  $N$ 은 각각 하중범위와 반복횟수를 나타내며, 신뢰지수는 0.997이다. 그림 3은 각 실험체의 컴플라이언스 변화를 나타낸 것으로, X축과 Y축은 각각 반복횟수와 컴플라이언스 비를 나타낸다.



그림 1. 중공 실험체의 파괴 메카니즘

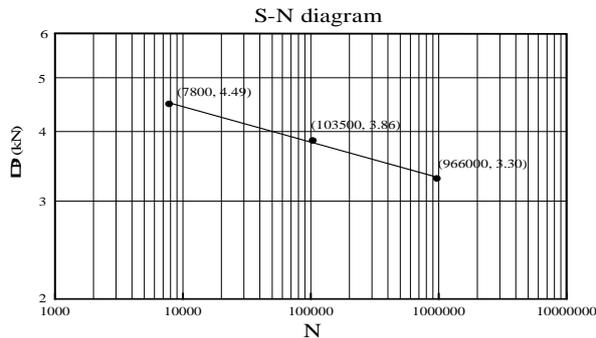


그림 2. 중공 FRP 보의 S-N선도

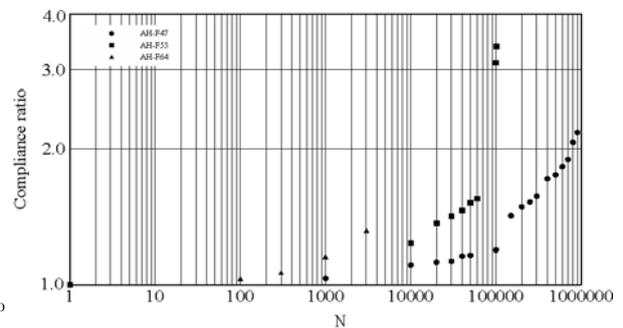


그림 3. 중공 FRP보 컴플라이언스 변화

#### 3.2 폼 충전된 FRP 보

내부충전 FRP보의 피로실험 결과는 표 1에 요약하였으며, 실험진경 및 파괴 메카니즘은 그림 4에 나타내었다. 그림 5에 나타낸 S-N 선도에서 Prematured Failure로 명시된 점은 AFH-F55 실험체의 실험결과이며, 이는 불량 성형으로 인하여 예상된 반복횟수와 완전 빛간만 매우 작은 반복횟수에서 파괴가 발생한 결과이다. 따라서 AFH-F55 실험체의 결과를 신뢰할 수 없기 때문에, S-N선도는 AFH-F55 실험체를 제외한 나머지 두 실험체의 결과를 선형회귀분석 하였으며, 식(2)는 이로부터 도출된 내부충전 FRP보의 피로강도 추정식이다.

$$\Delta P = 54.60 \times N^{-0.128} \quad (2)$$

위 식은 중공실험체에 비해서 신뢰도가 떨어진다고 판단되며, 내부충전 FRP보의 피로특성을 규명하기에는 적합하지 않다고 판단된다. 그림 6은 각 실험체의 컴플라이언스 변화를 나타낸다.



그림 4. 충전 실험체의 파괴 메카니즘

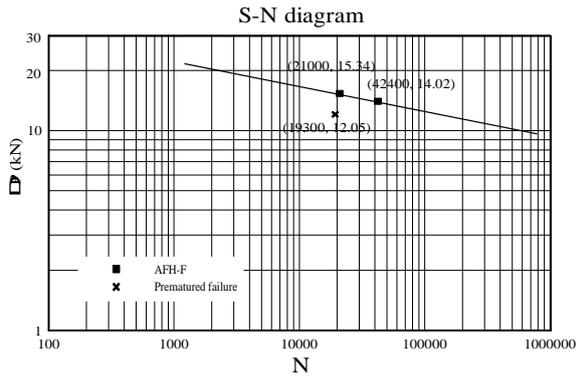


그림 5. 내부충전 FRP보의 S-N선도

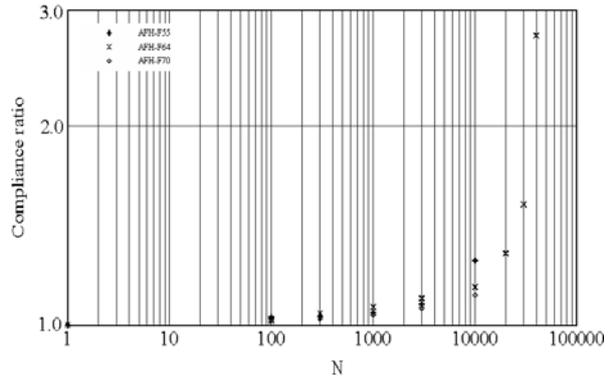


그림 6. 내부충전 FRP보 컴플라이언스 변화

#### 4. 내부충전 실험체의 피로에 의한 열변화

그림 7은 온도측정 위치를 나타낸 것이며 각 연결부의 온도를 표기하기 위해서 번호를 부여하였고, 반복횟수 500회에서 각 연결부 온도는 그림 8과 같다. 전단변형이 상대적으로 작은 실험체의 중앙부는 온도변화가 크지 않지만, 상대적으로 전단변형이 큰 양 끝으로 갈수록 온도가 크게 증가함을 알 수 있다. 이는 실험체의 양쪽 끝 부분의 전단변형이 크므로, 충전된 폼에 균열이 발생하거나 실험체로부터 떨어져나가 마찰을 일으키기 때문에 온도가 크게 증가한 것이다.

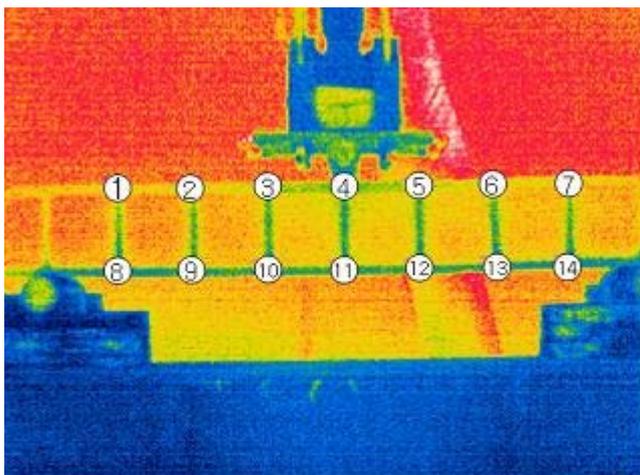


그림 7. 온도측정 위치 및 번호 (재하 전)

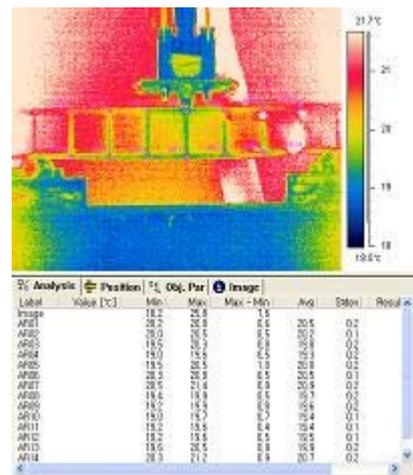
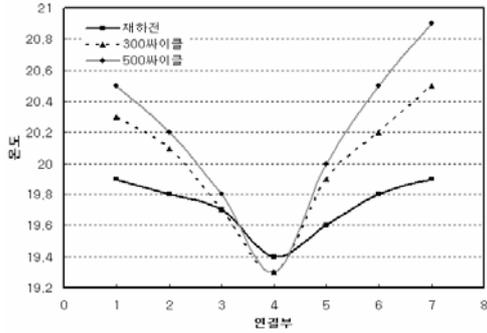
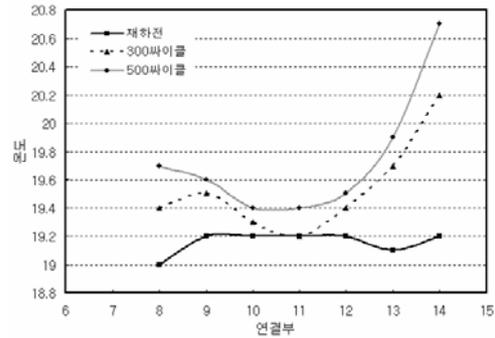


그림 8. 써모그라피 (500회 반복 후)



(a) 상부



(b) 하부

그림 9. 반복횟수에 따른 각 연결부의 온도변화

### 5. 결 론

1. 내부충전 FRP 바닥판의 피로성능이 중공 바닥판에 비해 크게 우수하였다. 같은 하중범위에 대해 피로 수명이 약 10,000배 증진되었다.
2. 실험체의 상태 및 수량의 한계로 인하여 정확한 S-N선도를 획득하지는 못하였지만, 내부충전 FRP보의 경우 중공 FRP보에 비해서 S-N선도의 경사가 다소 급하기 때문에 피로성능은 대폭 개선된 반면, 충전 폼에 의한 추가의 피로저항은 발생하지 않았다.
3. 중공 FRP보의 경우 처짐이 정적최대하중의 처짐에 접근할 때 컴플라이언스가 급격히 증가하였으며, 반면에 내부충전 FRP보는 충전폼의 파괴가 발생하면 컴플라이언스가 급격히 증가하였다.
4. 내부충전 실험체의 파괴에 의한 열변화를 실험을 통해 살펴본 결과, 상대적으로 전단변형이 큰 양 끝으로 갈수록 온도가 크게 증가하여 손상이 크게 됨을 알 수 있었다.
5. 내부충전 FRP바닥판의 파괴과피는 폼 균열로부터 시작해서 사인장균열, 복부판의 분리의 순서로 진행된다. 특히 복부판 연결부의 품질이 파괴과피의 특성을 크게 좌우하는 것으로 판단되므로 향후 제작시에는 연결부의 섬유배치에 주의를 기울여야 한다.

### 감사의 글

본 연구는 2005년 한국건설기술연구원과 고려대학교 방재연구소 간의 연구계약 및 건설교통부가 출연하고 한국건설교통기술평가원에서 위탁 시행하는 첨단융합건설기술개발사업인 (05첨단융합B01)에 의해서 이루어진 것으로, 이에 감사를 드립니다.

### 참고문헌

1. 한국건설기술연구원(2005) **장수명 합리화 바닥판 개발 II (4차년도)**, 한국건설기술연구원 연구보고서, 2005-059.
2. 김병민, 지광습, 황윤국, 이영호. (2006) 폼 충전 FRP 바닥판의 약축방향 정적거동 특성에 관한 실험적 연구, **대한토목학회논문집**, 2006년 제출.
3. 지광습, 김병민, 황윤국, 이영호, 강영중. (2006) FRP 바닥판의 약축방향 파괴모드에 관한 연구, **한국전산구조공학회논문집**, Vol. 19(1), pp. 73-83.
4. 지광습, 김병민, 황윤국, 이영호. (2006) 폼 충전 FRP 바닥판의 약축방향 정적거동 특성, **한국전산구조공학회 논문 학술발표회**, Vol. 19(1), pp. 906-913.
5. Park. K. T, Kim. S. H, Lee. Y. H, Hwang. Y. K (2005), Pilot test on a developed GFRP bridge deck, *Composite Structures*, Vol. 70, pp. 48-59.