복합재료 바닥판 부재의 정적 및 피로거동에 관한 실험적 연구

An Experimental Study of Fatigue and Static Behavior for Composite Deck Member

김영찬* · 박태영** · 김두환***
Kim, Young Chan · Park, Tai Young · Kim, Doo Hwan

Abstract

For making an application in construction parts of the composite material's complicated theory needs to accumulation of data by the help of study and experiment(demonstrate). Thus, this study is conducted research and analysis about the Influence of repeated loading cycles on Strength Ratio of the high quality material which is Carbon/Epoxy Composite Laminates through the test of tensile and fatigue Characteristics, based on it, construction engineers will can apply composite materials to construction technical without difficulty.

key word : composite material

1. 서 론

교량의 구성요소중 바닥판은 교량의 다른 부재에 비하여 단면이 작고 윤하중을 직접받는 부재이기 때문에 쉽게 손상을 받을 수 있으며, 화학적인 환경에 직접 접촉하여 열화손상이 극심한 부재이다. 신설 교량뿐만 아니라 기존 교량의 유지관리 차원에서 고정하중을 획기적으로 감소시키면서 내화학성 및 내구성이 뛰어난 새로운 재료의 활용이 요구되고 있다. 이를 위해 최근 복합재료(FRP; Fiber Reinforced Polymers)를 활용하고자 하는 연구가 선진국에서 급격하게 증가하고 있으며, 1990년대부터 복합소재로 제작된 바닥판을 일부 도로교 가설에 적용하고 있다. 그러나 복합재료가 토목재료로 활용된 기간이 짧아서 외기에 노출되는 토목구조물로 건설되는 경우 장기적으로 내구성에 대해서 충분히 검증된 것은 아니므로 이에 대한 검토가 필요하다.

2. 연구내용 및 범위

본 연구에서는 FRP 바닥판 부재의 섬유방향에 따른 인장강도 및 피로성능 실험을 수행 하였으며, 이 결과를 비교 분석하여 S-N선도를 도출하고 장기적인 내구성을 평가하여 향후 FRP 부재의 해석 및 설계기준의 기초자료를 제공하고 복합재료의 구조재 활용을 위한 기반기술을 제공하고자 하였다.

위에 서술한 연구목적을 이루기 위하여 본 논문은 서론에서 FRP 바닥판 부재의 인장 및 피로시험의 목적 및 내용을 서술하였고, FRP 바닥판 부재의 섬유방향에 따른 인장시험과 피로시험의 결과를 분석 · 고찰하여 얻어진 결과를 정리 하였다.

3. 실험 내용

본 실험에서는 FRP바닥판 부재를 사용하여, ASTM-D3039 및 D3479에서 추천하는 인장 및 피로실험을

* 학생회원 · 서울산업대학교 구조공학과 · 석사과정 E-mail kyc98@hanmail.net
** 학생회원 · 서울산업대학교 구조공학과 · 석사과정
*** 정회원 · 서울산업대학교 구조공학과 · 교수

통해 재료의 인장강도와 피로수명곡선(S-N Curve)을 얻었으며, 반복하중횟수에 따른 하중계수의 변화를 고찰하였다.

3.1 복합재료 부재의 형상

FRP 복합재료 시험체의 단면형상은 그림 1~2와 같다

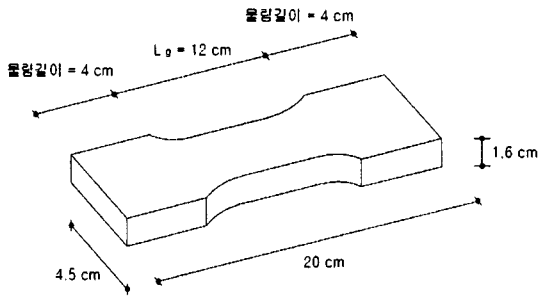


그림 1 섬유직각방향 시험체 단면형상

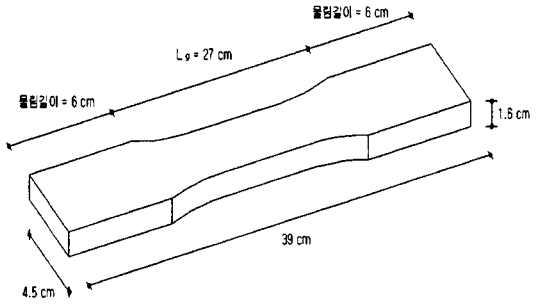


그림 2 섬유방향 시험체 단면형상

3.2 인장실험

인장실험은 ASTM-D3039에서 추천하는 방법으로 진행 되었으며, 시험편의 파괴시 까지의 변형률을 측정하기 위해 시험편의 정 중앙에 변형률게이지를 부착하였다.

시험편을 무는 Grip의 압력, 시험편이 물리는 면적등은 수회의 예비실험에 의해 결정되었으며, 모든 시험편에 동일하게 적용하였다. 시험편이 정착된후에 Instron사의 모델 8502(용량 : 25kN)를 이용하여, 인장하중을 재하하였다. 하중의 재하방식은 변위제어이며, 재하속도는 1mm/min으로 인장하중을 가하였고, 동시에 변형률 측정기를 이용하여 1Hz의 속도로 인장변형률을 측정하였다.

3.3 피로실험

피로실험에서의 적용응력은 인장실험결과에 따르며, 주파수(Frequency)섬유직각방향 시험체의 경우 25Hz로 섬유방향 시험체의 경우 13Hz로 각각 일정하게 실험을 실시하였다. 하중의 재하방식은 Haver Sine wave를 이용한 하중제어방식으로 하였다. 또한, 시험편에 압축이 걸리지 않도록 응력비(Stress ratio) 0.1의 인장-인장 피로실험을 상온에서 실시하였다. 피로실험에 적용된 응력수위는 0.7~0.3범위 이며, 본 연구에서 재료의 피로한계(Fatigue Limit)는 건설에서의 무한수명인 200만회로 보았다. 또한 신뢰할 수 있는 데이터 축적을 위해 본 실험에서는 200만회 이상의 반복하중을 시험편에 가하였다.

4. 실험 결과

4.1 인장실험 결과 및 고찰

섬유방향 및 섬유직각방향 시험체의 인장실험 결과로부터 극한강도, 탄성계수등의 기계적 성질을 측정하여 표 1~2에 나타내었다.

표 1 FRP 섬유직각방향 복합재료의 인장실험 결과

No	Ultimate Strength (MPa)	Max Strain (10^{-6})	Tensile Modulus	Max Load (kN)
1	74.28	6316	11760	34.53
2	64.94	11865	5473	29.55
3	64.96	4404	14750	30.10
Mean Strength : 2417				

표 2 FRP 섬유방향 복합재료의 인장실험 결과

No	Ultimate Strength (MPa)	Max Strain (10^{-6})	Tensile Modulus	Max Load (kN)
1	231.27	13502	17128	107.27
2	210.67	17385	12117	92.59
3	251.22	14615	17189	105.75
Mean Strength : 231.05				

섬유직각방향 시험체의 최대하중은 34.53KN로 측정되었다. 최대 인장응력은 시험체 1이 74.28MPa로 최대값을 나타내었다. 또한, 최대변형률은 인장 시험체 2에서 11865×10^{-6} 으로 측정되었고, 최소변형률은 시험체 3에서 4404×10^{-6} 으로 측정되었다. 이와 같이 큰 차이가 발생되는 것은 시험편에서 매트릭스상의 균열, 계면의 박리, 분산상의 파괴 등이 조합되어 일어나는 과정에서 기인되는 것으로 판단된다.

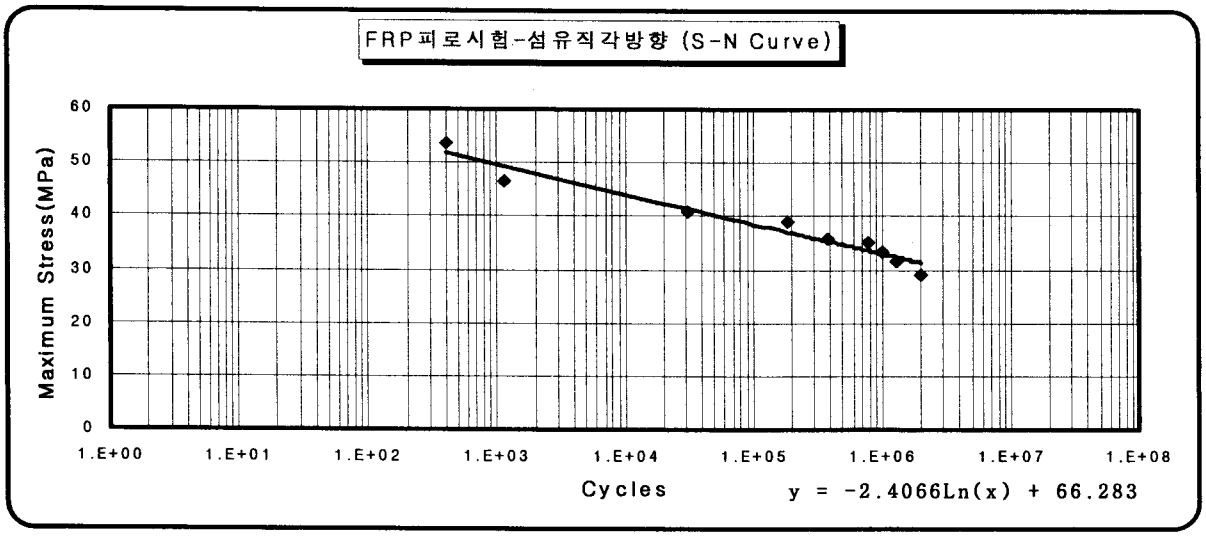
섬유방향 시험체의 최대하중은 107.27KN로 측정되었다. 섬유방향 시험체의 인장시험 결과 최대인장응력의 경우 시험체 3이 251.22Mpa로 가장 큰 값을 나타내었다. 최대변형률의 경우 인장 시험체 2에서 17385×10^{-6} 으로 측정되었고, 최소변형률은 시험체 1에서 13502×10^{-6} 으로 측정되었다. 이를 고찰할 때 섬유방향 시험체는 섬유직각방향 시험체보다는 데이터 값이 훨씬 수렴되는 경향을 보이는바 이는 파괴과정에서 Matrix 배열에 따른 구조 특성으로 보다 안정적인 거동을 보이는 것을 알 수 있었다.

4.2 피로실험 결과 및 고찰

피로실험 결과는 가한 응력(S)과 사이클 수(N)의 관계로 나타내며, 일반적으로 S-N curve라 불리운다. 세로 축은 직선축으로 응력이나 변형률의 최대값 혹은 진폭을 나타내며, 가로 축은 응력이나 변형률이 가해진 회수의 대수(Log)를 취하여 나타낸다. 시편이 완전히 파괴되었을 때를 수명으로 일반적으로 나타내나, 어떤 경우는 강성이 어느 정도 이하로 감소되었을 때를 수명으로 나타내는 경우도 있다.

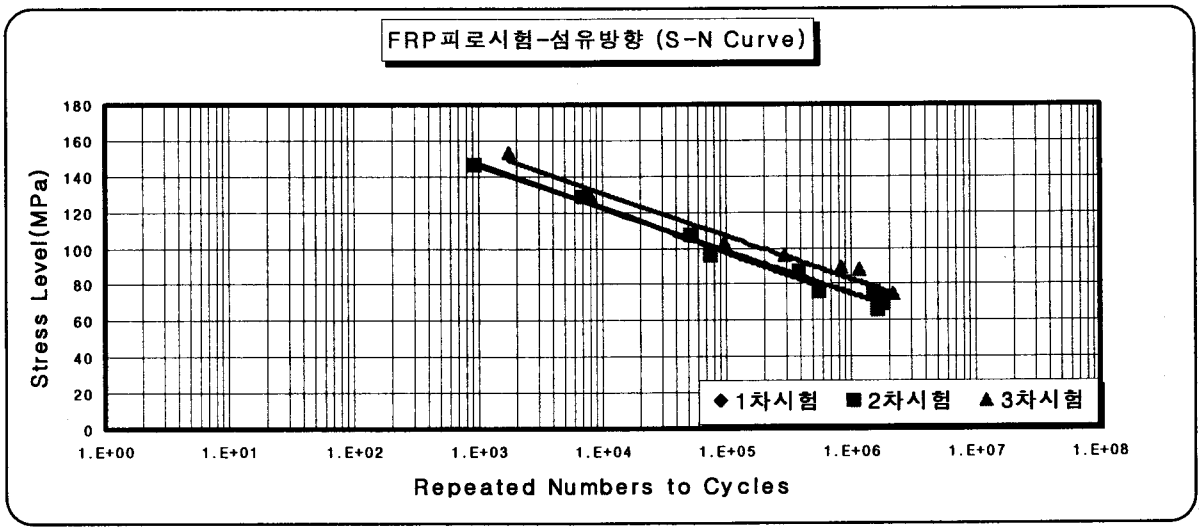
FRP 섬유직각방향과 섬유방향의 피로시험 결과로부터 나온 S-N Curve를 그림 3~4로 나타내었다.

그림 3 섬유직각방향 복합재료의 피로시험 결과



섬유직각방향 시험체의 피로시험 결과 Table 3.4에서와 같이 응력이 작아질수록 반복횟수는 증가하는 일반적인 현상을 알 수 있었고, 응력범위 29.24Mpa인 경우 건설분야에서 사용되는 피로한계인 200만회를 충분히 만족시키는 것으로 나타났다. 섬유직각방향 시험체의 피로시험의 경우, 대부분의 균열이 반복횟수 초기에 발생하였고, 섬유방향 시험체와는 달리 초기균열이 육안으로 확인이 가능하였고, 반복횟수가 증가함에 따라 기존의 균열이 점차 진전되는 양상을 보였다.

그림 4 섬유방향 복합재료의 피로시험 결과



섬유방향 시험체의 1차 피로실험은 응력범위의 감소에 따라 피로수명은 순조롭게 증가하는 경향을 보였으나 응력범위 84.79Mpa에서 54만회 정도로 200만회를 기준으로 할 때, 피로한계가 상당히 낮아지는 현상이 나타나므로 200만회의 피로수명을 구하기 위하여 응력범위를 낮춰 72.79Mpa~84.11Mpa인 2차시험을 실시한 결과 피로수명이 갑자기 증가되어 200만회 이상의 값이 예상되므로 1차 실험에 준하는 응력범위에 대해 재실험 즉, 3차 실험을 실시한 결과 1차시험과 비등한 응력범위에서 피로수명이 1차 실험과 달리 급속히 증가되는 현상이 나타났다. 이는 재료의 균일성 부족에 따른 요인으로 신뢰성에 문제가 제기될 수 있다고 판단 되어진다.

5. 결 론

FRP 복합재료 바닥판 부재의 섬유방향에 따른 인장 및 피로특성을 고찰하여 S-N선도를 도출하였다. 그 결론을 정리하면 다음과 같다.

인장시험결과 섬유방향 시험체는 최대인장응력 평균치가 섬유직각방향 시험체에 비해 약 3.45배로 크게 나타나 섬유방향 시험체가 훨씬 큰 강성을 갖고 있음을 알 수 있었다. 또한 탄성계수가 섬유직각방향보다 섬유방향 시험체가 평균1.6배의 탄성계수를 나타내는 것으로 보아 섬유방향 시험체가 섬유직각 시험체보다 선형적인 거동을 함을 알 수 있었다.

피로시험결과 200만회의 피로한계에 도달되는 응력범위는 섬유방향 시험체의 경우 약 82.74Mpa이고, 섬유직각방향 시험체의 응력범위는 약 29.24Mpa로 섬유방향 시험체가 약 2.83배 정도의 큰 피로수명을 확보함을 알 수 있었으며, DB-24하중이 작용할 경우 바닥판이 받는 응력이 10 Mpa 미만임을 고려할 때 충분한 안전성을 확보하였다고 판단된다.

참고문헌

1. 이창수 황운봉 (1999), "비선형 변형 거동을 갖는 섬유강화 복합재료의 피로수명 예측" 한국복합재료학회지
2. 김범준 강태진 (1994), "브레이드 복합재료의 계면결합력에 따른 인장-인장 피로 특성에 관한 연구" 한국복합재료학회지
3. 김광수 김상태 (1993), "평직 탄소섬유강화 복합재료의 손상 및 피로특성에 관한 연구" 대한기계학회논문집
4. Kim. D. H, (1994), "Size-Scale Effects in the Failure of Composite Structure" 한국복합재료학회 추계학술발표대회 논문집