

# 중공단면 복합소재 교량 바닥판의 실험적 피로특성 분석

## Experimental Fatigue Characteristics of Composite Bridge Deck of Hollow Section

이 성 우†

Lee, Sung-Woo

홍 기 증\*

Hong, Kee-Jeung

(논문접수일 : 2005년 1월 6일 ; 심사종료일 : 2006년 10월 19일)

### 요 지

본 연구에서는 개발된 중공단면 복합소재 교량 바닥판에 대해 피로거동을 평가하기 위하여 거더 지지부에서의 압축피로 시험과 2.8m 길이의 휨시험체 모델에 대한 휨피로시험을 수행하였다. 피로하중은 도로교설계기준의 제시된 DB24 트럭 후륜 축하중에 대해 200만회까지 반복 재하하였으며, 압축피로시험의 경우에는 복합소재 바닥판 부재와 바닥판 튜브간의 연결부에 대한 피로성능을, 휨피로시험의 경우에는 복합소재 바닥판 및 주형연결부에 대한 피로성능을 분석하였다.

핵심용어 : 복합소재, 교량 바닥판, 압축피로시험, 휨피로시험, 합성 연결부

### Abstract

In this study, to evaluate fatigue characteristics of developed composite bridge deck, compression fatigue test at girder support and flexural fatigue test for the 2.8m-long flexural test model were carried out. For the test specimen, DB 24 truck load was applied up to 2,000,000 cycles. In the compression fatigue test, behavior at deck tube and its bonded connection were evaluated. In the flexural fatigue test, deck behavior at mid-span and girder connection were evaluated.

*Keywords : composite, bridge deck, compression fatigue test, flexure fatigue test*

## 1. 서 론

복합소재는 강재처럼 부식하지 않고, 콘크리트처럼 열화되지 않으며, 목재처럼 부패되지 않아 내구년수를 획기적으로 향상시킬 수 있어 해외 선진국에서는 복합소재의 건설분야 연구개발에 많은 노력을 기울이고 있다(Brusel, 2000). 복합소재는 자중에 비해 강도(비강도)가 커서 경량부재의 제작이 가능하므로 시공 장비의 소형화나 인력에 의한 시공이 가능하여 운송, 취급에 소요되는 비용을 줄일 수 있고, 공기를 단축할 수 있어 전체 공사비를 절감할 수 있다. 이와 같은 이점을 이용하여 교량의 신설 및 성능 개선시 종래에 사용되고 있는 콘크리트 바닥판을 대체할 수 있는 복합소재 교량 바닥판을 설계, 제작, 시험, 검토하여 실 교량에 적용할 수

있는 산업화 수준으로 개발하였다(이성우, 2004).

본 논문에서는 개발된 복합소재 교량 바닥판에 대한 피로 시험을 실시하고, 복합소재 바닥판의 피로 특성을 분석하고자 한다.

## 2. 복합소재 바닥판 단면의 특징

개발된 복합소재 바닥판은 3개의 사다리꼴 형태의 셀을 가지는 중공 단면으로서 인발성형에 의해 튜브 형태로 제작되며, 제작된 튜브를 운송이 가능한 크기로 연결 접합하여 현장에서 조립, 시공할 수 있는 교량 바닥판용 패널로 제작된다. 따라서, 바닥판 튜브의 연결 접합이 용이하고 구조적 일체성을 도모할 수 있도록 튜브단면의 단부는 상호 연결이

† 책임저자, 정회원 · 국민대학교 건설시스템공학부 교수

Tel: 02-910-4696 ; Fax: 02-918-1979

E-mail: swlee@kookmin.ac.kr

\* 정회원 · 국민대학교 건설시스템공학부 교수

• 이 논문에 대한 토론을 2007년 3월31일까지 본 학회에 보내주시면 2007년 6월호에 그 결과를 게재하겠습니다.

가능한 암수부를 가지게 된다. 그림 1에서는 본 연구의 복합소재 교량 바닥판 튜브단면을 보여주고 있으며, 표 1에는 선행연구의 재료시험 결과(이성우 등, 2002)로부터 얻어진 바닥판의 물성치를 보여주고 있다.

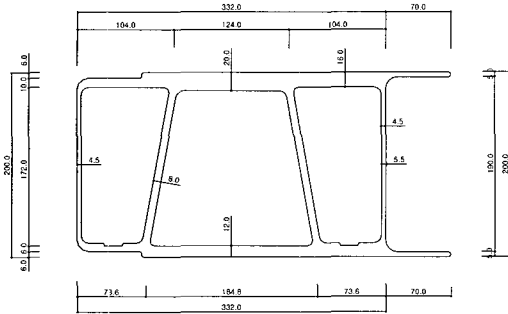


그림 1 복합소재 교량 바닥판 튜브의 단면

표 1 복합소재 교량 바닥판 단면 물성치

항 목		상부판	하부판	복부판
인장탄성계수	Ex,t (MPa)	17,097	21,210	18,933
	Ey,t (MPa)	20,190	14,616	15,636
압축탄성계수	Ex,c (MPa)	7,199	7,447	9,446
	Ey,c (MPa)	7,194	6,581	7,349
포아송비	vxy	0.182	0.182	0.174
	vyx	0.153	0.153	0.210
전단탄성계수	Gxy (MPa)	13,868	11,115	11,217
X-인장강도	ox,t (MPa)	204.3	303.2	234.2
X-압축강도	ox,c (MPa)	261.0	334.5	267.8
Y-인장강도	oy,t (MPa)	156.0	158.8	146.8
Y-압축강도	oy,c (MPa)	162.1	121.3	105.4
전단강도	τxy (MPa)	44.3	44.5	55.1

주) X 방향 : 바닥판 패널 종방향(차량진행 직각방향)  
Y 방향 : 바닥판 패널 횡방향(차량진행 방향)

### 3. 압축피로시험

#### 3.1 복합소재의 피로 특성

복합소재에 사용되는 섬유들은 일반적으로 매우 좋은 피로 특성을 가지고 있고, 결합하는 수지는 기계적 성질이 우수하고 경화시 수축이 낮으며, 강화 섬유와 접착이 잘 이루어져 높은 피로 특성을 나타낸다. 그러나 복합소재는 일반적으로 적층판 형태로 사용되므로 어떤 플라이들은 하중방향으로의 강도가 낮기 때문에, 완전한 적층판의 파괴가 발생되기 전에 일부의 플라이의 파괴가 발생할 수가 있다. 복합소재 적층판

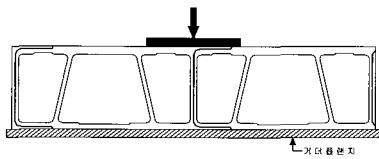
의 손상은 섬유와 수지 사이의 계면파괴, 수지의 파괴, 섬유의 파괴나 기공의 성장 혹은 층간 분리 등의 현상으로 나타난다.

복합소재는 피로수명내의 초기에 손상이 되더라도, 파괴의 진전이 이루어지지 않고 복합재료의 내부에서 붙잡히는 경우도 있다. 그러나 중요한 구조물일 경우는 복합소재 적층판의 어느 부분도 손상을 입지 않게 설계되어야 한다. 복합소재 적층판내의 플라이가 손상을 입으면, 복합재료의 파괴가 일어나기 훨씬 전이라도 적층판의 강성 값이 많이 감소할 수가 있다. 금속의 경우에는 균열의 크기가 크지 않으면 강성의 값이 감소하지 않으므로, 금속과 복합재료의 경우에 강성 값에 기준한 파괴기준, 즉 변위의 크기에 기준한 두 재료의 파괴 기준은 다르게 된다. 따라서 금속에서 얻은 피로파괴 기준을 복합재료에 그대로 적용시킬 수 없게 된다. 그러므로 복합소재로 구조물을 설계할 경우에는 복합소재의 피로 특성을 잘 파악하여야만 최적의 구조물을 설계할 수가 있다. 복합소재 교량 바닥판의 피로특성 연구는 참고문헌 4에 일부 수록되어 있으나, 그 결과는 어디까지나 연구대상의 데크에 관한 것이어서 단면형상과 적층설계를 달리하여 개발된 본 논문의 바닥판에 대한 특성은 별도 피로시험으로 분석하여야 한다. 본 논문에서는 개발된 복합소재 바닥판에 대한 피로 특성을 실험을 통해 분석해 보고자 한다.

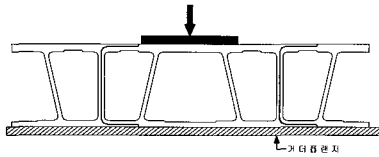
#### 3.2 피로 하중재하위치의 결정

델타데크 복합소재 바닥판에 대한 거더 지점부에서의 피로 거동을 파악하기 위해 압축피로시험을 수행하고자 한다. 피로시험을 위한 운하중 재하위치는 그림 2와 같이 두 가지 경우에 대하여 유한요소해석을 수행한 후 해석결과를 비교하여 결정하였다. 하중경우 1은 접착제로 접합된 연결부의 복부판 상부에 운하중이 재하되는 경우이고, 하중경우 2는 연결부가 없는 포켓 공간위에 재하되는 경우이다. 유한요소해석으로 두 하중경우에 대해서 응력이 크게 발생하는 운하중 재하위치에서의 응력값을 비교검토했다. 그림 3은 각 경우의 유한요소해석 모델을 보여주고 있다. 해석 모델링에서는 복합소재 물성치 입력이 가능한 쉘요소를 사용하였다. 해석시 사용된 재료의 물성치는 선행연구결과와 재료시험결과로부터 얻어진 표 1의 값을 사용하였다.

표 2에는 각 경우의 운하중 재하위치에서 발생한 응력값과 파괴강도 대비 발생응력비율을 보여주고 있다. 표에서 위치 g1, g2, g3, g4는 그림 6의 각 번호에 해당하는 변형률 게이지 부착 위치이다. 표 2에서 알 수 있듯이 대부분의 위치에서 하중경우 1이 더 큰 응력값을 보이고 있다. 따라서, 하



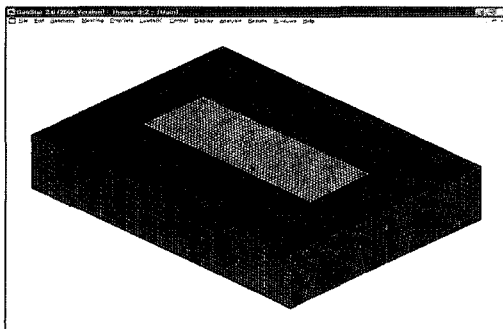
하중경우 1



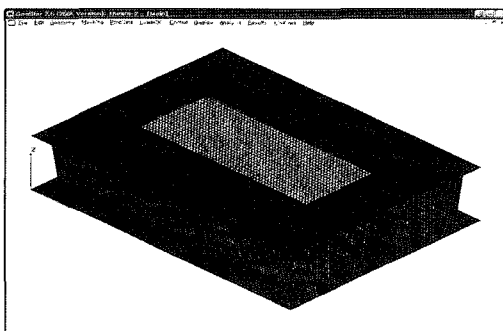
하중경우 2

그림 2 하중재하 모델

중경우 1이 더 지배적인 윤택중 재하위치로 판단되었다. 또한, 하중경우 1로 재하할 경우 바닥판 에폭시로 접착한 튜브간 연결부에 대한 피로성능까지도 동시에 파악할 수 있어서 피



하중경우 1



하중경우 2

그림 3 유한요소해석 모델

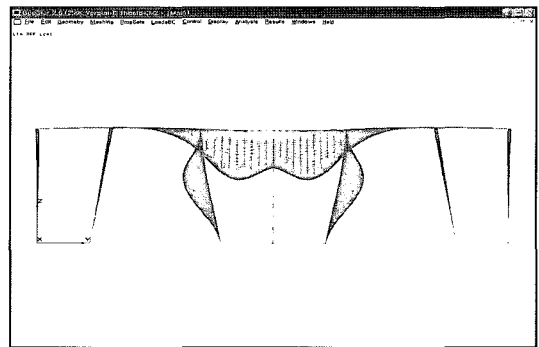
표 2 각 경우의 해석결과 발생응력 및 파괴강도 대비 발생응력비율

위 치	파괴강도 (MPa)	하중경우 1		하중경우 2	
		발생응력 (MPa)	파괴강도/ 발생응력	발생응력 (MPa)	파괴강도/ 발생응력
g1	-261.0	-3.5	75.4	-3.1	85.3
g2	-162.1	-14.8	11.0	-12.9	12.6
g3	-261.0	-3.4	77.9	-3.1	85.3
g4	-162.1	-11.9	13.6	-12.9	12.6

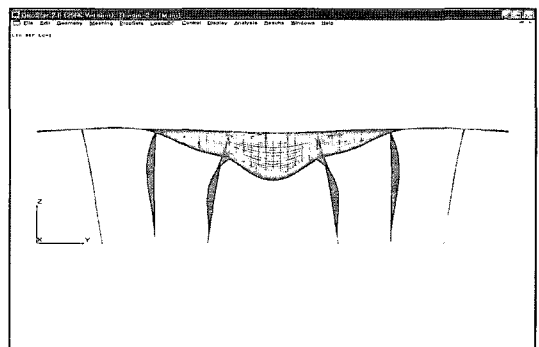
로시험시 하중재하위치를 하중경우 1과 같이 설정하였다. 그림 4에는 각 하중경우에 대한 해석결과인 처짐도를 보여주고 있다.

### 3.3 시험 개요

압축피로시험은 복합소재 교량 바닥판의 거더 지점부에 대한 반복적인 윤택중의 피로영향을 평가하기 위한 것으로 도로교설계기준의 DB24 차륜하중을 재하하였다. 주행위에 윤택중이 작용할 경우 반복압축응력으로 인해 복합소재 바닥판 및 튜브간의 연결부에 대해서 피로가 발생하며, 이에 대한 피로거동을 파악하고자 한다. 하중반복횟수는 도로교설계기준에서 고속도로, 국도 및 주간선도로의 교량에 대한 트럭하중의 피로하중 기준에 적용되는 200만회까지 재하하였다.



하중경우 1의 처짐도



하중경우 2의 처짐도

그림 4 각 하중경우의 처짐도

압축피로시험의 시험체는 두 개의 바닥판 튜브를 접착 연결하여 폭 670mm, 길이 900mm의 크기로 제작하였다. 반복재하하중은 DB24하중에 대해 충격계수(0.3)를 고려하여 124.8kN으로 하였고, 하중은 도로교설계기준의 윤택중 접지면 580mm×230mm의 크기로 패널간의 연결부에 재하하였다. 그리고, 총 200만 회의 반복하중을 5Hz의 재하속도로 가력하였으며, 초기, 50만, 100만, 150만, 200만회 반복하중시험 후 각각 정적 재하시험을 수행하였다. 변형률 게이지는 재하면 아래와 경계부에 부착 설치하여 하중에 대한 변형

를을 계측하였다. 또한 바닥판 내부의 국부처짐을 측정하기 위해 바닥판 내부 중앙에 변위계를 설치하였다.

주형을 모사하기 위해 시험용 프레임에 강결지점이 설치되었고, MTS 장비 특성상 하부 액츄에이터에서 하중이 재하되므로 바닥판 시험체를 뒤집어서 250kN MTS 피로시험기가 설치하였다. 그림 5에서는 복합소재 바닥판의 압축피로시험 개요를 보여주고 있다. 그림 6에서는 시험체의 변형을 게이지 부착위치를 보여주고 있다. 변형을 게이지는 하중재하부의 최대응력 발생부를 중심으로 종횡방향으로 부착하였다.

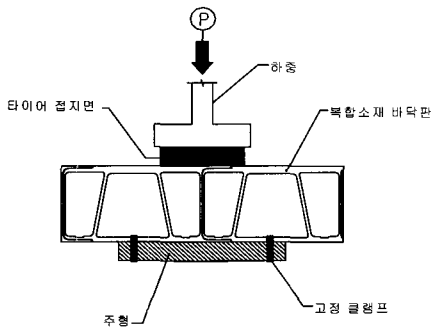


그림 5 복합소재 바닥판의 압축피로시험 개요

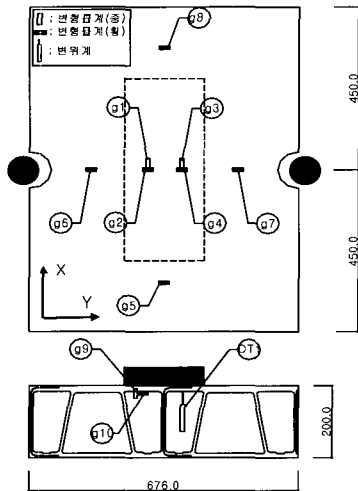


그림 6 시험체의 변형을 게이지 부착위치

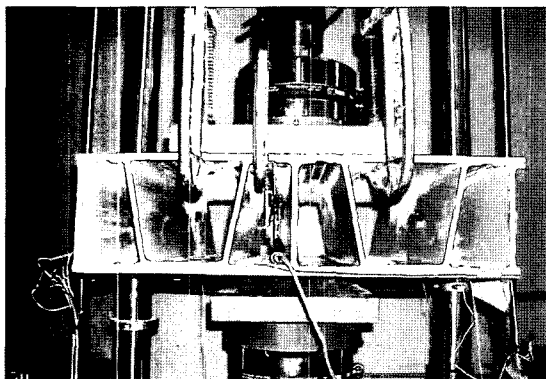


사진 1 복합소재 바닥판의 피로시험 모습

사진 1에서는 복합소재 바닥판의 압축피로시험 모습을 보여주고 있으며, 사진 2에서는 바닥판 시험체 내부에 설치된 변위계를 보여주고 있다. 변위계는 바닥판 내부에서 한쪽은 상부플랜지에 고정하여 설치하였다.

### 3.4 시험결과

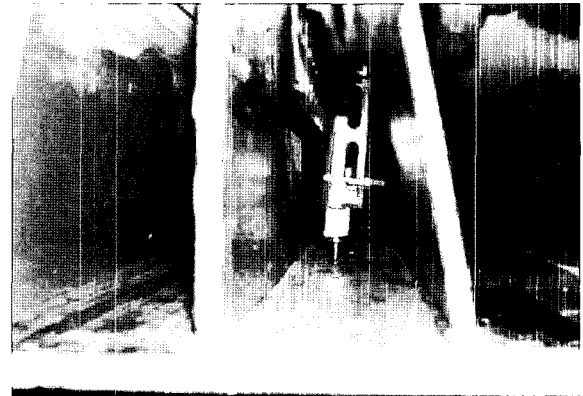


사진 2 바닥판 내부에 설치된 변위계

초기, 50만, 100만, 150만, 200만회 반복하중시험 후 각각 정적하중 재하시험 결과, 바닥판 내부의 변위계로부터 계측된 바닥판 상하부판의 상대처짐의 경우 초기에는 0.88mm의 처짐이 발생하였고 이후 200만회까지 1.13mm에서 1.25mm 정도로 수렴하는 추세를 보였다. 변형을 게이지로부터 계측된 하중반복횟수에 따른 변형률에 있어서도 100만회에서부터는 반복하중의 증가에 따라 그 증가폭이 적어 전반적으로 피로하중에 대해 안정화되는 피로거동을 보였다. 표 3에는 초기, 50만, 100만, 150만, 200만회의 피로시험 후 정적 재하시험에서 계측한 변위계 및 변형률 게이지의 계측결과를 보여주고 있다. 표에서 g1과 g3는 대칭 위치에 있으며 유사한 값을 보이나 접착연결부로 인해 완전한 대칭거동은 보이지 않고 있다. g2와 g4 역시 대칭 위치이나 상당히 차이 나는 값을 보이고 있어 접착부 영향이 큼을 알 수 있다. g6과 g7은 하중재하점에서 다소 떨어져 있는 대칭 위치로 거동양상이 비교적 근사하게 나타남을 보여준다.

표 3 하중반복횟수별 변위계 및 변형률 게이지의 계측결과

하중반복횟수 (만회)	변위 (mm)	변형률 (με)									
		gage g1	gage g2	gage g3	gage g4	gage g5	gage g6	gage g7	gage g9	gage g10	
0	-0.88	-264	-831	-216	-407	29	507	454	1066	-150	
50	-1.13	-188	-877	-224	180	125	581	358	762	-111	
100	-1.23	-224	-1315	-239	257	145	578	295	432	-187	
150	-1.20	-162	-1272	-265	115	199	569	373	351	-183	
200	-1.25	-181	-1245	-289	127	171	589	331	307	-170	

200만회의 반복하중 후에도 바닥판 내에서는 상부판이나 하부판, 복부판에서 균열이나 적층판의 층간 분리, 섬유와 수지 사이의 파괴 등이 관찰되지 않았다. 또한 패널간의 연결부에서는 예폭시수지로 접착된 상부판이나 하부판, 복부부분에서도 외관상 손상이 발견되지 않았다. 200만회의 반복하중시험 후 정적재하시험시 계측된 변형률에 재료시험결과로부터 얻어진 상부판의 탄성계수를 곱하여 게이지별 발생응력을 구하고, 이에 대해 파괴강도와 대비하여 계산한 결과를 표 4에서 보여주고 있다. 표에서 알 수 있는 바와 같이 DB24의 공용하중하에서 200만회의 반복하중 이후 발생응력은 게이지 6에서 가장 크게 발생하며, 이때 발생응력 대비 파괴강도는 13.1으로써 피로로 인한 파괴에 대해 충분한 안전성을 갖고 있는 것으로 판단된다. 따라서, 시험대상 복합소재 교량 바닥판은 도로교설계기준에서 요구하는 200만회의 피로하중에 대하여 충분한 내피로성능을 보유하는 것으로 평가되었다. 게이지 8의 손상으로 인해 이 게이지의 발생응력은 생략하였다.

표 4 200만회 반복하중재하 후 게이지별 발생응력과 파괴강도대비표

Gage 위치 (방향)	200만회 후 변형률( $\mu\epsilon$ )	재료시험결과 탄성계수 ( $MPa$ )	발생응력 ( $MPa$ )	파괴강도 ( $MPa$ )	파괴강도/ 발생응력
1 (X방향)	-181	7,199	-1.3	-261.0	200.3
2 (Y방향)	-1245	7,194	-9.0	-162.1	18.1
3 (X방향)	-289	7,199	-2.1	-261.0	125.4
4 (Y방향)	127	20,190	2.6	156.0	60.8
5 (Y방향)	171	20,190	3.5	156.0	45.1
6 (Y방향)	589	20,190	11.9	156.0	13.1
7 (Y방향)	331	20,190	6.7	156.0	23.3
9 (X방향)	307	17,097	5.3	204.3	38.9
10 (Y방향)	-170	7,194	-1.2	-162.1	132.5

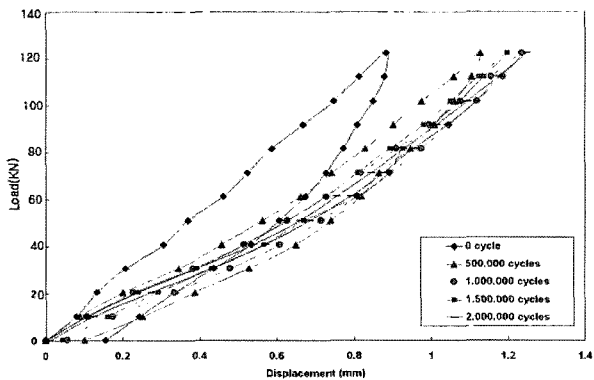


그림 7 정적 하중재하 시험결과 반복횟수별 하중-변위 선도

그림 7에는 시험결과 하중-변위 선도를 보여주고 있다. 그림에서 알 수 있듯이, 변위계로 계측된 결과 반복하중횟수 50만회에서는 강성이 상당히 저하되어 초기값과 상당한 차이를 보이고 있으나 이후 반복하중에 대해서는 증가폭이 적어 안정화되는 추세를 보이고 있어 이후로는 피로하중에 대한 성능저하가 거의 일어나지 않고 있음을 알 수 있다.

그림 8에서 그림 10에는 각 변형률 게이지 별 반복하중횟수에 따른 하중-변형률 선도를 보여주고 있다. 그림에서 보는 바와 같이 전반적으로 반복하중 증가에 따라 변형률의 증가는 소폭이며 수렴되고 있으므로 피로에 대한 거동이 안정적임을 알 수 있다. 200만회 반복하중에 대한 시험을 토대로 추정해보면 500만회나 1000만회의 반복하중이 재하되어도 안정화되는 추세를 보일 것으로 예상된다.

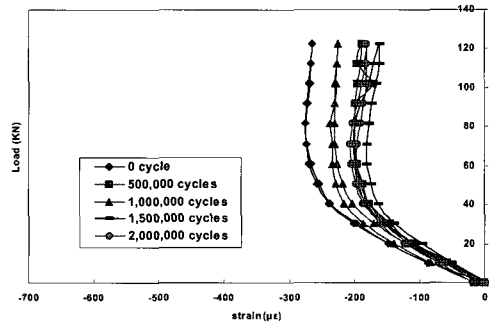


그림 8 하중-변형률 곡선 (Gage 1)

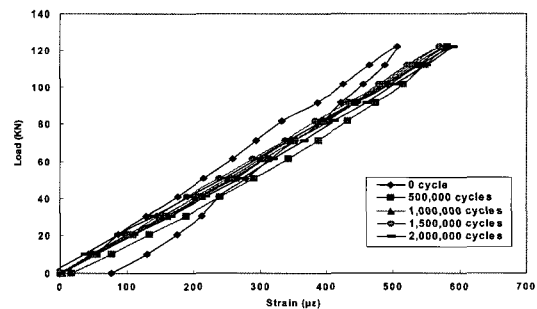


그림 9 하중-변형률 곡선 (Gage 6)

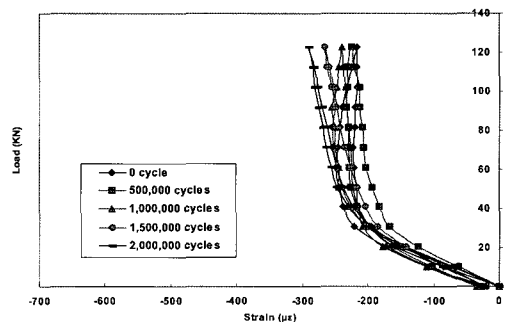


그림 10 하중-변형률 곡선 (Gage 3)

그림 8과 그림 10에서 보듯이 Gage 1과 Gage 3은 41kN의 하중재하까지는 선형변화를 보이는 반면, 그 이후는 하중이 증가하더라도 더 이상 변형이 일어나지 않는 것으로 계측되었다. 반복하중에 대해서는 초기에는 다소 큰 폭으로 증가하였으나 이후에는 작은 폭으로 증가하여 안정화됨을 알 수 있다. 그리고, Gage 1과 Gage 3은 서로 대칭인 위치에 부착되어 유사한 양상을 보이지만 다소 차이를 보이고 있는데, 이는 Gage 1의 경우 순수 바닥판의 변형률이 계측된 반면 Gage 3의 경우는 에폭시수지로 접착된 연결부의 바닥판 변형률이 계측되어 차이를 보이고 있는 것으로 사료된다. 그림 9에 있는 Gage 6의 경우 초기반복하중에서는 강성변화가 다소 큰 반면 이후 반복하중에 대해서는 그 변화가 적어 안정화되는 추세를 보임을 확인할 수 있었다. 그 이외의 위치에 대한 분석결과는 참고문헌(이성우 등, 2002)을 참조 바란다.

4. 휨피로시험

4.1 시험 개요

주형에 합성으로 설치된 복합소재 교량 바닥판의 반복적인 운하중에 대한 피로성능을 평가하기 위하여 도로교설계기준의 DB24 차륜하중에 대하여 휨피로시험을 수행하였다. 휨피로시험에서도 압축피로시험과 동일하게 200만회 하중반복횟수에 대하여 시험을 수행하였다.

휨피로시험의 시험체는 3개의 인발성형된 바닥판 튜브를 접착 연결하여 폭 1,000mm, 길이 2,800mm의 크기로 제작하였다. 그림 11에서는 복합소재 바닥판의 휨피로시험의 개요도를 보여주고 있다.

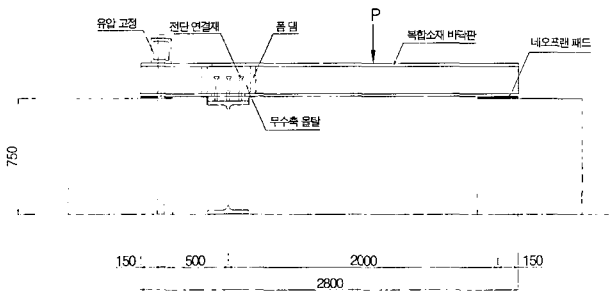


그림 11 휨피로시험 개요도

폭 1m인 시험체에 대한 DB24 하중에 상응하는 재하하중을 구하기 위해 주형간격이 2.0m인 5주형 판형교에 대한 등가판 해석 및 프레임 해석을 수행하고 그 결과를 비교하여 하중분포폭을 구하였으며, 이로부터 시험체의 반복재하 하중을 결정하였다.(이성우, 2004)

운하중분포폭 산정을 위한 구조해석에서 충격을 포함한 DB24의 후륜 축하중은 124.8kN으로 하였으며, 해석결과, 프레임 해석에 의한 최대 모멘트는 4.4kN-m이고 등가판 해석에 의한 최대 모멘트는 27.5kN-m이었다. 프레임해석상의 발생 휨모멘트가 균일하게 하중분포폭에 분포된다고 가정하면 해석대상 교량의 최대 정모멘트가 발생하는 위치의 연속보 모멘트와 등가판 모멘트의 비인 운하중분포폭 E는  $M_{연속보}/M_{등가판} = 4.4/2.75 = 1.6$ 으로 계산될 수 있다.

운하중분포폭을 구하였으므로 폭 1m인 휨시험체에서 충격을 포함한 DB24 하중 124.8kN에 해당하는 반복재하하중은 상가하중을 운하중분포폭 1.6으로 나누어 78kN이 된다. 이 하중을 도로교설계기준의 운하중 접지폭 580mm×230mm의 크기에 재하하였으며, 총 200만 회의 반복하중을 5Hz의 재하 속도로 가력하였다. 피로응력상태를 구하기 위해 초기, 50만, 100만, 150만, 200만회 반복하중시험 후 각각 정적 재하시험을 수행하였다. 사진 3에서는 휨피로시험의 전경을 보여주고 있다.

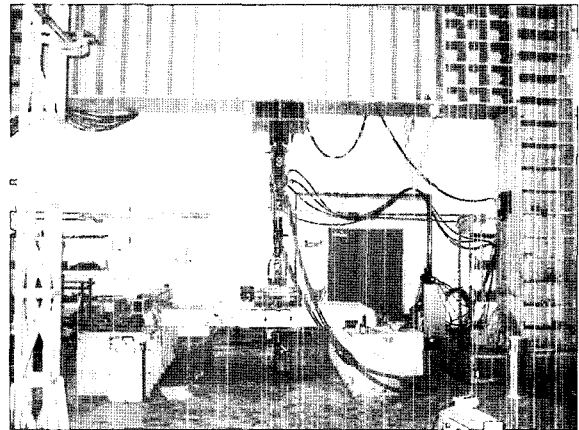


사진 3 휨피로시험 전경

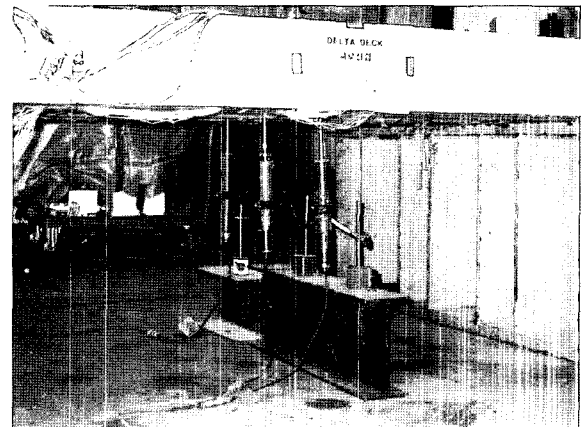


사진 4 바닥판 시험체의 기간 중앙 하단에 설치된 변위계

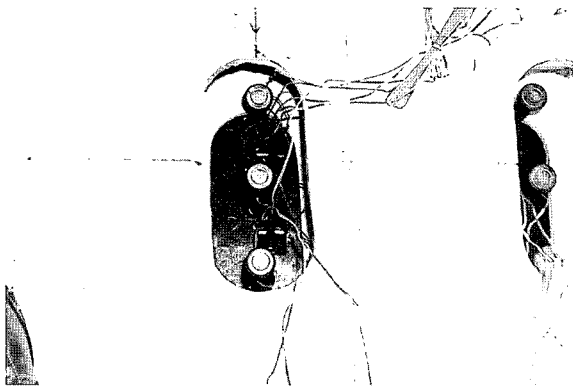


사진 5. 전단 연결재가 설치된 상태의 복합소재 바닥판 시험체

시험시 바닥판 수직 변위의 측정은 지간 중앙 하단 3개소에 설치한 변위계로 계측하였으며, 변형률의 측정은 바닥판 상하부판 및 전단 연결재에 부착, 설치한 변형률 게이지로 계측하였다. 사진 4에는 바닥판 경간 중앙부 하단에 설치된 변위계의 모습을 보여주고 있다. 또한, 그림 12와 그림 13에는 바닥판 시험체의 단면 형상과 변형률 게이지 부착위치

도를 보여주고 있으며, 그림 14에서는 전단 연결재의 변형률 게이지 부착위치도를 보여주고 있다. 주형-바닥판 합성 연결부는 거더와의 합성구조를 위해 바닥판 패널 내부에 전단 연결재를 용접 설치하고, 무수축 모르타르를 포켓에 충전하였다. 사진 5에는 전단 연결재가 설치된 상태의 복합소재 바닥판 시험체의 모습을 보여주고 있다.

#### 4.2 시험결과

초기, 50만, 100만, 150만, 200만회의 피로시험 후 수행한 정적하중 재하시험 결과, 하중 반복횟수에 따른 변형률의 증가폭이 적어 전반적으로 반복하중증가에 대해 안정화되는 피로거동을 보였다. 200만회 피로시험시까지 최대 정모멘트부(하중재하부)와 부모멘트부(지점부)에서 바닥판 손상이나 바닥판 튜브 접착 연결부의 분리 등 바닥판 부재 자체의 어떠한 손상이 관측되지 않았고, 바닥판과 거더 연결부의 무수축 모르타르 채움재의 분리나 전단 연결재와 채움재의 분리, 채움재 균열, 거더 연결부에 대한 손상이 전혀 관측되지 않

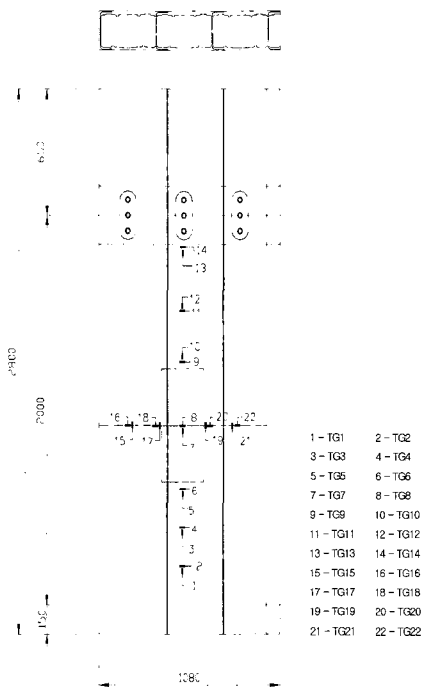


그림 12 상부판 게이지 부착위치도

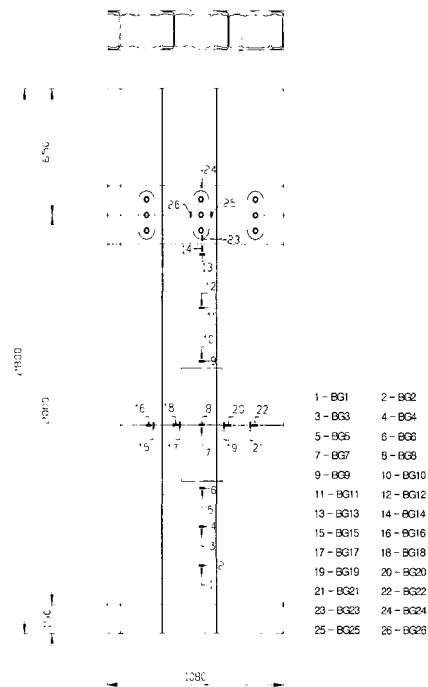


그림 13 하부판 게이지 부착위치도

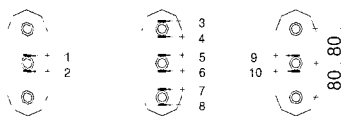


그림 14 전단 연결재의 변형률 게이지 부착위치도

아 200만회 반복하중에 대해 바닥판의 휨피로에 대해서는 문제가 없음을 확인하였다.

표 5 하중 반복횟수별 변위계 계측결과

하중반복횟수 (만회)	변위 (mm)		
	DT-1(중앙)	DT-2(좌측)	DT-3(우측)
0	-4.48	-2.45	-2.12
50	-4.07	-1.95	-1.55
100	-3.84	-1.72	-1.40
150	-3.77	-1.66	-1.34
200	-3.94	-1.85	-1.48

표 5에서는 초기, 50만, 100만, 150만, 200만회 피로시험 후 수행한 정적 재하시험결과에서 변위에 대한 계측결과를 보여주고 있다. 표에서 알 수 있듯이 DT-2, DT-3은 대칭위치에서 계측된 값이므로 유사한 반면 DT-1은 하중재하부 중앙에서의 값이므로 다소 크게 계측되었다.

그림 15에는 초기, 50만, 100만, 150만, 200만 반복하중 재하 후 정적재하 시험에 대한 지간중앙부의 하중-변위 선도를 보여주고 있다. 하중-변위 선도에서 보듯이 압축피로 시험결과와 마찬가지로 50만회 반복하중까지 상대적으로 큰 강성변화가 있었으나 그 이후 반복하중에서는 강성의 변화가 적어 안정화되는 추세를 보였다. 그림 16부터 그림 18에는

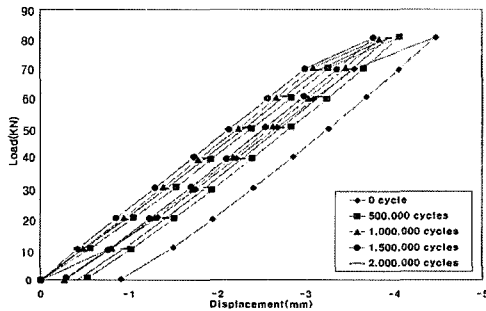


그림 15 하중-변위 선도(DT 1-중앙)

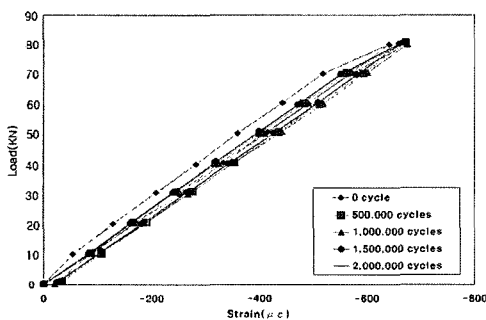


그림 16 하중-변형률 선도(TG 7-차량진행직각방향)

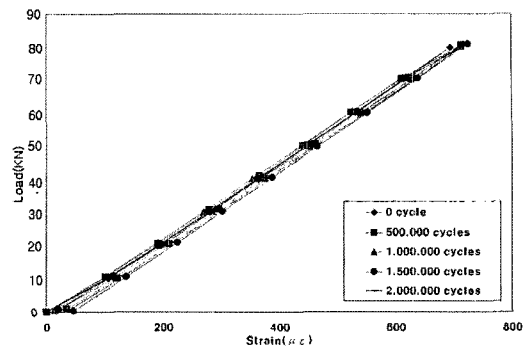


그림 17 하중-변형률 선도(BG7-차량진행직각방향)

반복하중 재하 후 정적재하 시험결과에 따른 복합소재 바닥판의 하중-변형률 선도를 보여주고 있고, 그림 19에는 전단 연결재의 하중-변형률 선도를 보여주고 있다. 변형률 선도에서 휨피로시험과 압축피로시험 결과를 비교해 보면 휨피로시험에서는 상대적으로 재하하중이 작기 때문에 반복하중에 따른 변형률의 변화가 아주 작고 거의 선형관계를 나타냄을 알 수 있다.

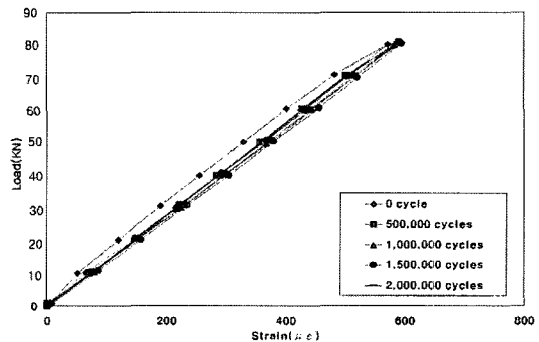


그림 18 하중-변형률 선도(BG 19-차량진행직각방향)

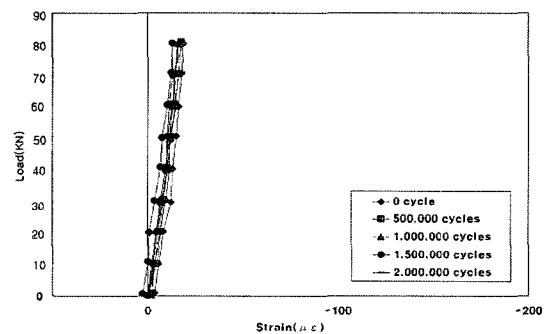


그림 19 하중-변형률 선도(S1)

계측된 변형률과 탄성계수를 이용하여 각 게이지별 발생응력을 구하고, 이를 부재의 파괴강도와 대비하여 계산한 결과, DB24의 공용하중하에서 200만회의 반복하중 이후 바닥판의 발생응력은 차량진행 직각방향의 경우에는 최대 15.27MPa



(BG 7)이 발생하고, 차량진행 방향인 경우에는 최대 9.68MPa (BG 8)의 응력이 발생하여 발생응력대비 파괴강도가 각각 19.8과 16.4로 계산되었다. 또한 전단 연결재의 경우에는 최대 42.33MPa의 응력이 발생하여 항복강도대비 5.7이었다. 이는 피로하중에 대해 파괴강도대비로 충분한 안전성을 갖고 있는 것으로 판단되므로, 복합소재 바닥판과 전단 연결재는 도로교설계기준에서 요구된 200만회의 피로하중에 대하여 충분한 내피로성능을 보유한 것으로 평가되었다.

## 5. 결 론

본 논문에서는 인발성형공정으로 제작된 증공단면 유리섬유 복합소재 교량 바닥판에 대해 지점부 시험체에 대한 압축 피로시험과 거더 연결부를 포함한 휨시험체에 대한 휨피로시험을 통하여 피로 특성을 분석하였다.

- 1) 충격을 포함한 DB24 축하중의 반복하중에 대한 압축 피로시험 후 정적하중 재시험 결과, 바닥판 상하부판의 상대처짐의 경우 초기에는 0.88mm의 처짐이 발생하였고 이후 200만회까지 1.13mm에서 1.25mm 정도로 수렴하는 추세를 보였으며, 변형률에 있어서도 100만회에서부터는 반복하중의 증가에 따라 그 증가폭이 적어 전반적으로 반복하중에 대해 안정화되는 피로 거동을 보였다.
- 2) 압축피로시험에서 200만회의 반복하중 후에도 시험체의 바닥판과 바닥판 접착 연결부에는 외관상 손상이 관찰되지 않아 피로하중에 대한 손상이 발생하지 않는 것으로 나타났다. 또한, DB24의 공용하중 하에서 200만회의 반복하중 이후 발생응력대비 파괴강도가 13.1로써 피로하중에 대해 충분한 안전성을 갖고 있는 것으로 판단되었다.
- 3) 휨피로 시험의 경우에 200만회 반복하중시험시까지 최

대 정모멘트부와 부모멘트부에서 바닥판 부재자체의 손상이나 튜브 접착 연결부의 분리 등 바닥판의 손상이 관측되지 않았고, 바닥판과 거더 연결부의 무수축 모르타르 채움재의 분리나 전단 연결재와 채움재의 분리, 채움재 균열 등 거더 연결부에 대한 손상이 전혀 관측되지 않았음을 확인할 수 있었다.

- 4) 휨피로시험체에서 200만회 반복하중재하 후 바닥판의 발생응력대비 파괴강도는 차량 진행방향의 직각인 경우에는 19.8이었고, 차량진행방향의 경우에는 16.4였으며, 전단 연결재의 경우에는 발생응력대비 항복강도가 5.7로써 200만회 피로하중에 대해 충분한 안전성을 갖고 있는 것으로 판단된다.

## 감사의 글

본 연구는 건설교통부에서 지원하는 산·학·연 공동연구개발사업(목적A01)으로 수행되었으며, 연구지원에 감사드립니다.

## 참 고 문 헌

- 박성용, 송충한, 이선구, 이성우 (2002) 인발성형 복합소재 교량 바닥판의 설계 및 제작, 한국전산구조공학회 학술발표회 논문집.
- 이성우 (2004) 신속시공·경량·고내구성 복합소재 교량 바닥판 산업화 연구, 건설교통부 연구보고서, 건설기술평가원.
- Brusel, B. P.(2000) Product Selection Guide: FRP Composite Product for Bridge Applications, The Market Development Alliance of the FRP Composite Industry.
- Defence Advanced Research Projects Agency (2000) Advanced Composites for Bridge Infrastructure Renewal - Phase II, Martin Marietta Composites.