

필라멘트 와인딩과 인발성형 제작 복합소재 교량 바닥판의 휨 특성 비교분석

Comparative Study on the Flexural Characteristics of Composite Bridge Deck Fabricated with Filament Winding and Pultrusion

이 성 우†

Lee, Sung Woo

(논문접수일 : 2005년 1월 5일 ; 심사종료일 : 2005년 5월 30일)

요 지

본 논문에서는 유리섬유 복합소재 교량 바닥판 개발에 필요한 기초 자료를 마련하기 위하여, 필라멘트 와인딩공정과 인발성형공정으로 제작된 복합소재 교량 바닥판에 대해 휨시험과 구조해석을 실시하여, 휨특성을 비교·분석하였다. 필라멘트 와인딩으로 제작된 삼각형 형상의 복합소재 교량 바닥판의 성능을 비교하기 위하여, 미국 MMC사의 Duraspan 바닥판과 동일한 크기의 바닥판 시험체를 필라멘트 와인딩으로 제작하여 휨시험을 실시하고 최대 파괴하중과 처짐, 변형률을 비교하였으며, 필라멘트 와인딩 바닥판 시험체와 동일한 바닥판 모델에 대해 구조해석을 실시하여 시험한 결과와 비교하였다.

핵심용어 : 복합소재 바닥판, 필라멘트 와인딩, 인발성형, 휨 시험, 유한요소해석

Abstract

To develop composite bridge deck, comparative study on the flexural characteristics of deck fabricated with filament winding and pultrusion was performed. In this study, composite deck of triangular shape was fabricated with filament winding process and flexural tests were conducted along with pultruded 'Duraspan' deck. Failure load, maximum deflection and strains were compared with each other. Also finite element analysis for filament winding deck was carried out and the results were compared with those from experiments.

keywords : composite deck, filament winding, pultrusion, flexural test, finite element analysis

1. 서 론

첨단 신소재인 복합소재는 경량·고강도·고내구성 특성으로 인해 건설분야에서 미래 산업의 총아로 떠오르고 있다. 이러한 탁월한 특성을 보유한 복합소재는 최근 제조공법의 급속한 발달에 힘입어 건설분야에서도 경쟁성을 갖게 되었다.(Stockton, 1997) 더욱이 기존의 건설재료로 사용되어온 강재와 콘크리트의 부식과 열화 문제를 해결할 수 있어 구조물의 내구연환을 획기적으로 향상시킬 수 있을 뿐만 아니라 경량, 고강도 특성으로 인해 구조물의 자중을 크게 줄일 수 있고, 운송, 취급, 시공에 소요되는 공

기를 대폭 단축할 수 있어 건설분야에서의 본격적인 활용은 이제 시간문제만 남아 있는 것으로 보여진다.

복합소재를 이용한 토목구조물 중 교량 바닥판은 여러 가지 이점으로 인해 이미 구미 선진국에서 활발히 연구개발(MoonII, 2000; Chajes, 1998)되어 실용화되고 있다. 현장타설 공기가 소요되는 콘크리트 바닥판과는 달리 복합소재 바닥판은 공장에서 제작되어 거더 설치와 동시에 바닥판을 가설하므로, 공기를 현저하게 단축하여 교통통제 기간을 최소화하며 교통혼잡으로 인한 간접비를 대폭 절감한다. 또한, 복합소재 바닥판은 세설제를 사용해도 콘크리트나 강재처럼 열화 및 부식하지 않으므로 교량 바닥판의

† 책임저자, 정회원 · 국민대학교 건설시스템공학부 교수
전화: 02-910-4696 ; Fax: 02-918-1979
E-mail : swlee@kookmin.ac.kr

• 이 논문에 대한 토론을 2005년 9월 30일까지 본 학회에 보내주시면 2005년 12월호에 그 결과를 게재하겠습니다.

수명을 4~5배 연장시킬 수 있고, 유지관리비가 거의 들지 않아 교량 수명기간에 대한 실질투자비 감소로 건설투자효과를 극대화시킬 수 있다.

복합소재 바닥판은 콘크리트에 비해 중량이 1/5이하이므로, 자중을 경감하여 교각 기초나 거더를 경제적으로 건설할 수 있으며, 교량의 성능개선시 콘크리트 바닥판을 복합소재로 교체하면 자중을 경감한 만큼 통과 차량 하중을 크게 하여 교량을 승급할 수 있어서 현저한 공기단축과 공사비 절감을 도모할 수 있고, 자중 경감으로 인해 지진시에도 매우 유리해진다(이성우 등, 2001).

본 논문에서는 필라멘트 와인딩 공정으로 제작한 복합소재 교량 바닥판(델타테크)의 제작절차를 기술하였고, 휨시험과 구조해석을 통해 휨특성을 분석하였다. 또한 미국 MMC(Martin Marietta Composites)사에서 인발성형 공정으로 제작된 복합소재 교량 바닥판(듀라스펜)도 동일한 조건하에서 휨시험을 실시하여 그 결과를 비교하였다.

2. 필라멘트 와인딩 복합소재 교량 바닥판 설계

2.1 적층설계

본 연구의 필라멘트 와인딩 복합소재 교량 바닥판은 모델 바닥판에 대한 선행연구결과(주성애, 2000)를 기초로 횡방향 강성이 커서 구조적인 안전성을 확보할 수 있고, 곡선교 및 변단면교에도 적용할 수 있는 삼각형 단면을 가지도록 설계하였으며, 상부플랜지, 하부플랜지, 복부재로 구분하여 적층설계를 수행하였다. 핸드레이업공정의 섬유부피비는 35%이며, 방향별 적층설계에 따라 (주)동일산자제품의 MAX L900과 DBL1150의 다축 유리섬유직포를 사용하였다. 필라멘트 와인딩공정의 섬유부피비는 50%이며, 각각의 목표두께를 설정하여 적층설계가 이루어지도록 실시하였다. 수지는 내식성과 내열성에 강한 이소타입 불포화 폴리에스테르 수지 H-350을 사용하였다.

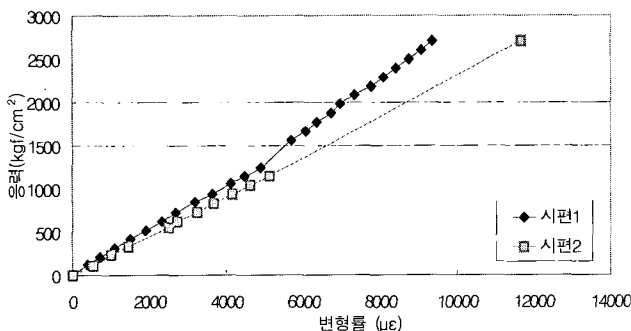


그림 2 상판 응력-변형률 곡선

복합소재 교량 바닥판의 상부, 하부플랜지와 복부재의 적층설계는 L900과 DBL1150을 이용하여 상판 두께 24.6mm, 하판 18.0mm, 복부판 13.0mm로 설계하였다. 그림 1에서는 델타테크 바닥판의 단면형상을 보여주고 있다. 표 1에서는 복합소재 적층판 해석 프로그램인 ESAComp에 의해 계산된 복합소재 교량 바닥판의 부재별 물성치를 보여주고 있다.

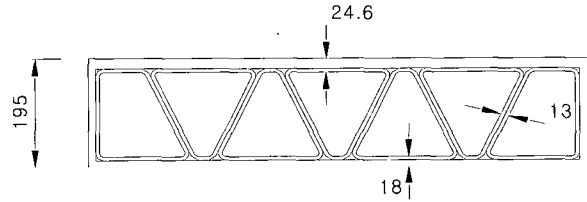


그림 1 델타테크 바닥판의 단면형상 (단위:mm)

표 1 부재별 물성치

구분	상판	하판	복부판	
탄성계수	$E_x(kgf/cm^2)$	124,405	132,665	125,731
	$E_y(kgf/cm^2)$	178,858	167,131	182,631
프와송의 비		0.208	0.234	0.245
전단탄성계수(G_{xy})(kgf/cm^2)		39,769	39,565	52,209

2.2 시편 재료시험

유리섬유 복합소재 교량 바닥판의 상판, 하판, 복부판의 물성을 알아보기 위하여 인장시험을 실시하였다. 시편 제작은 휨시험을 실시하였던 교량바닥판의 상판과 하판 그리고 복부판을 절단하여 사용하였다. 인장시험에 사용된 장비는 UH-100A이며, 재하속도는 1mm/min의 속도로 재하하였다.

인장시험결과 시편의 파괴거동은 선형의 모습을 나타내었으며, 파괴형태는 층간분리에 의해 이루어졌다. 평균적인 인장파괴응력은 차량진행방향에 직각방향의 상판에서 2,708kgf/cm²였으며, 하판은 2,010kgf/cm²로 나타났다.

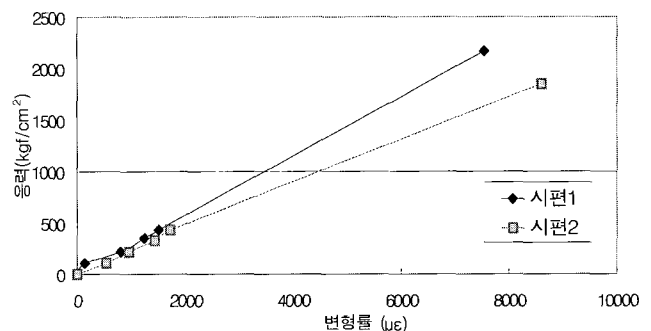


그림 3 하판 응력-변형률 곡선

그림 2와 3은 상판과 하판의 응력-변형률 곡선을, 그림 4는 복부판의 응력-변형률 곡선을 보여주고 있다. 표 2에는 인장시험편 시험 결과를 보여주고 있다. 표 1의 결과와 비교해 볼때, 탄성계수의 실제 실험값이 해석값보다 훨씬 크게 나옴을 알 수 있다.

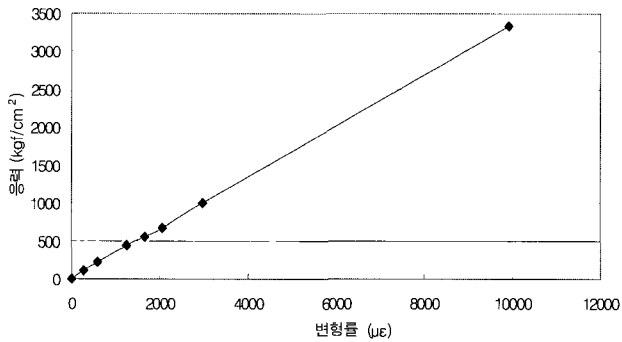


그림 4 복부판 응력-변형률 곡선

표 2 인장시험편 시험결과

구 분	최대강도(kgf/cm ²)	최대변형률(με)	탄성계수(kgf/cm ²)
상 판	2,708.33	9,364	289,192
	2,713.23	11,672	232,008
하 판	2,173.91	7,545	288,270
	1,847.82	8,605	214,738
복부판	3,311.25	9,923	335,886

3. 필라멘트 와인딩 복합소재 교량 바닥판의 제작

복합소재 교량 바닥판 델타데크는 2.1절의 적층설계에 따라 필라멘트 와인딩공정과 수적층공정을 병행하여 제작하였다. 복합소재 교량 바닥판은 삼각형 튜브와 상하부판으로 구성되는데, 이들 부재의 둘레방향인 횡방향[90°]으로는 4400TEX의 E-Glass 유리섬유 로빙을 사용하여 삼각형 단면형상의 우레탄 폼 코어에 필라멘트 와인딩 공정으로 삼각형 튜브 부재를 제작하고, 이들을

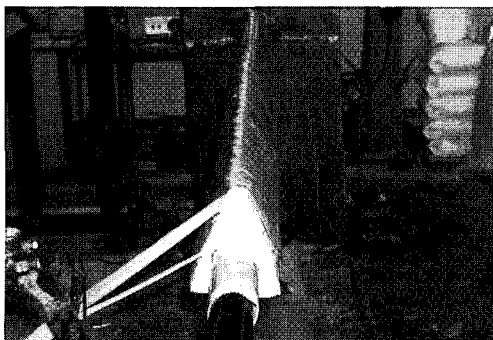


사진 1 필라멘트 와인딩 공정을 이용한 삼각형 튜브의 제작

병렬로 연결시킨 판형을 다시 필라멘트 와인딩으로 성형하여 바닥판 제작을 완성하였다. 바닥판의 종방향 및 경사방향(0°/±45°)방향으로는 필라멘트 와인딩전에 수적층으로 다축 유리섬유직포로 보강하였다. 사진 1에서는 삼각형 튜브를 필라멘트 와인딩 공정으로 제작하고 있는 모습을 보여주고 있으며, 사진 2에서는 섬유 적층이 완료된 삼각형 튜브를 형틀내에 삽입하여 수지경화전 병렬로 일체 연결하는 모습을 보여주고 있다. 사진 3에서는 다축유리섬유 직포를 이용하여 수적층 공정으로 바닥판의 상하면을 적층성형하는 모습을 보여주고 있으며, 사진 4에서는 전체 바닥판을 필라멘트 와인딩 공정으로 적층하는 모습을 보여주고 있다.

4. 복합소재 교량 바닥판의 휨성능 시험

4.1 시험개요

본 연구에서는 필라멘트 와인딩으로 제작된 유리섬유 복합소재 교량 바닥판의 파괴형태, 하중-변위관계, 하중-변형률관계 및 파괴하중을 알아보기 위하여 3점 휨시험을 실시하였다. 또한 동일한 시험조건에서 인발성형으로 제작된 미국 MMC사의 복합소재 교량 바닥판인 듀라스팬에 대한 휨시험도 동시에 실시하여 휨성능을 비교분석하였다. 그림 5에서는 듀라스팬 바닥판의 단면형상을 보여주고 있다.

유리섬유 복합소재 교량 바닥판의 휨시험은 100tonf MTS유압 액츄에이터를 설치한 대형 시험 프레임에서 실시하였다. 하중은 도로교설계기준의 윤하중 폭과 길이비 2.5 : 1인 타이어 접지면 577×230mm의 네오프렌 고무판 위에 재하 하였다. 휨시험시 복합소재 교량 바닥판의 계측을 위해 설치한 게이지 및 변위계의 방향은 교량 바닥판에 대해 차량진행에 직각인 방향(삼각형 길이방향)을 L방향이라 하고, 차량진행에 평행한 방향을 T방향이라 정하

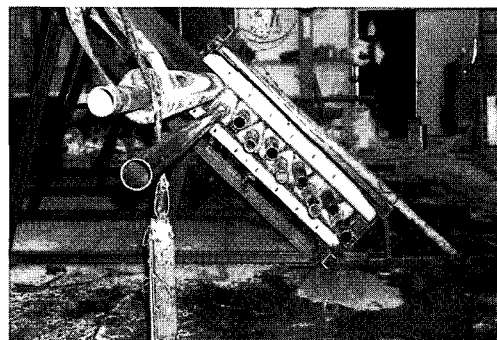


사진 2 섬유 적층이 완료된 삼각형 부재의 병렬연결

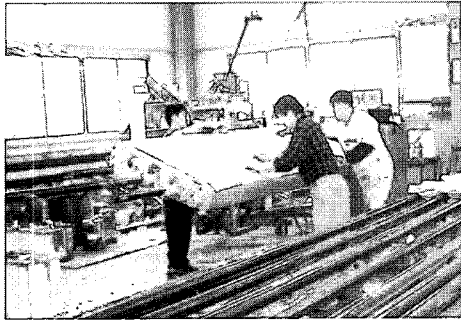


사진 3 다축유리섬유 직포를 이용한 바닥판 상하면 적층성형

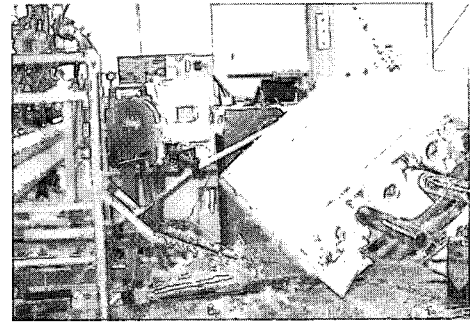


사진 4 전체 바닥판을 필라멘트 와인딩 공정으로 적층성형



그림 5 듀라스팬 바닥판의 단면형상 (단위 : mm)



사진 5 필라멘트 와인딩 제작 복합소재 교량 바닥판 델타데크의 단면 형상



사진 6 미국 MMC사의 인발성형 복합소재 교량 바닥판 듀라스팬의 단면 형상

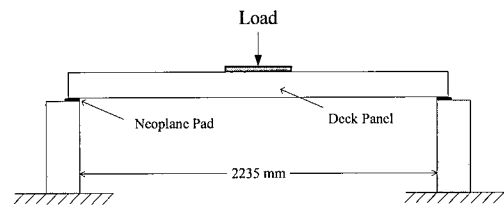


그림 7 시험개요도

였다. 복합소재 교량 바닥판의 변위를 측정하기 위하여 6 개의 변위계를 중앙부에 설치하였으며, 하중재하시 네오프랜 고무판의 탄성에 의한 처짐을 보정하기 위하여 지점부 양단에 처짐계를 설치하였다. 게이지의 부착위치는 국부적인 변형을 계측하기 위하여 재하면적 바로 밑에 중점적으로 설치하였고, L방향과 T방향의 변형을 계측하기 위하여 양방향 모두에 설치하였다. 사진 5에서는 휨시험에 사용된 본 연구에서 필라멘트 와인딩으로 제작한 복합소재 교량 바닥판 델타데크의 단면 형상을 보여주고 있으며, 사진 6에서는 함께 시험된 미국 MMC사의 인발성형 복합소재 교량 바닥판의 단면 형상을 보여주고 있다.

4.2 필라멘트 와인딩 복합소재 교량 바닥판 델타데크의 휨성능 시험

그림 6에서는 휨시험용 델타데크 바닥판에 대한 변형률 게이지의 위치 및 변위계의 위치를 보여주고 있으며, 그림 7에서는 시험개요도를 보여주고 있다. 사진 7에서는 델타데크 교량 바닥판의 휨시험 모습을 보여주고 있고, 사진 8에서는 하중재하단 아래에 변형률 게이지와 변위계가 설치된 모습을 보여주고 있다. 그림 8에서는 하중-변위 곡선을

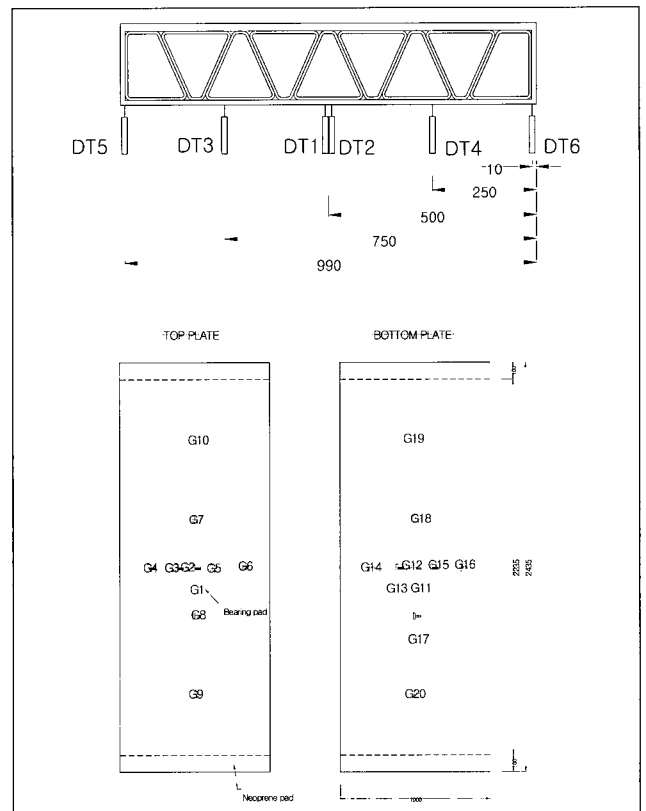


그림 6 델타데크의 변형률 게이지 및 변위계의 위치

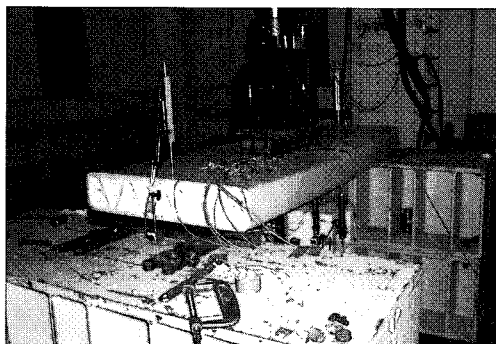


사진 7 델타데크 바닥판의 휨시험 모습

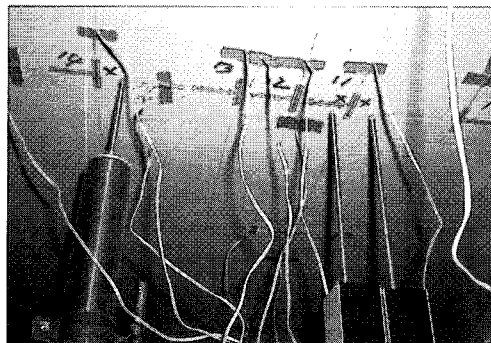


사진 8 델타데크 중앙부에 변형률 게이지와 변위계가 설치된 모습

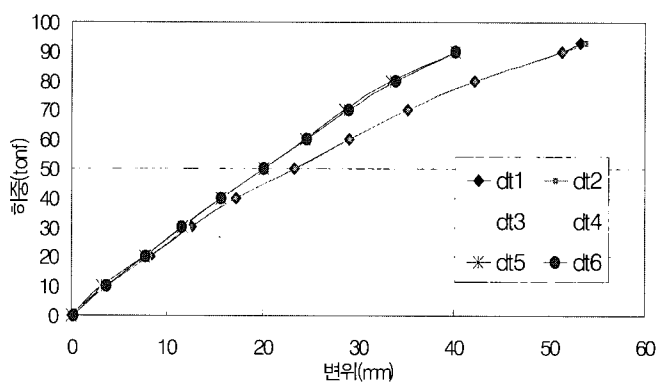


그림 8 델타데크 바닥판의 하중-변위곡선

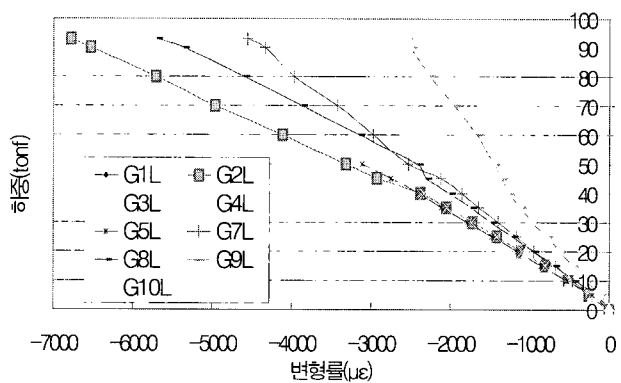


그림 9 델타데크 바닥판 상부의 하중-변형률곡선 (L방향)

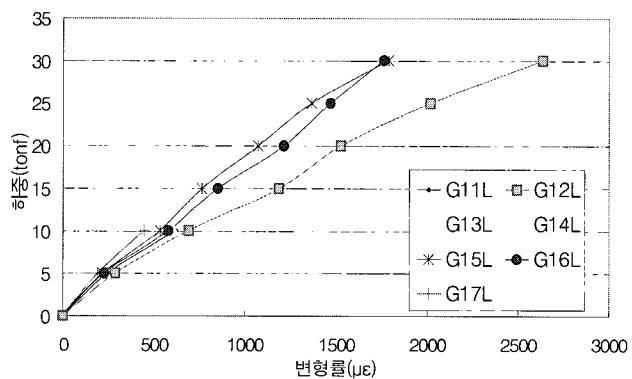


그림 10 델타데크 바닥판 하부의 하중-변형률곡선 (L방향)

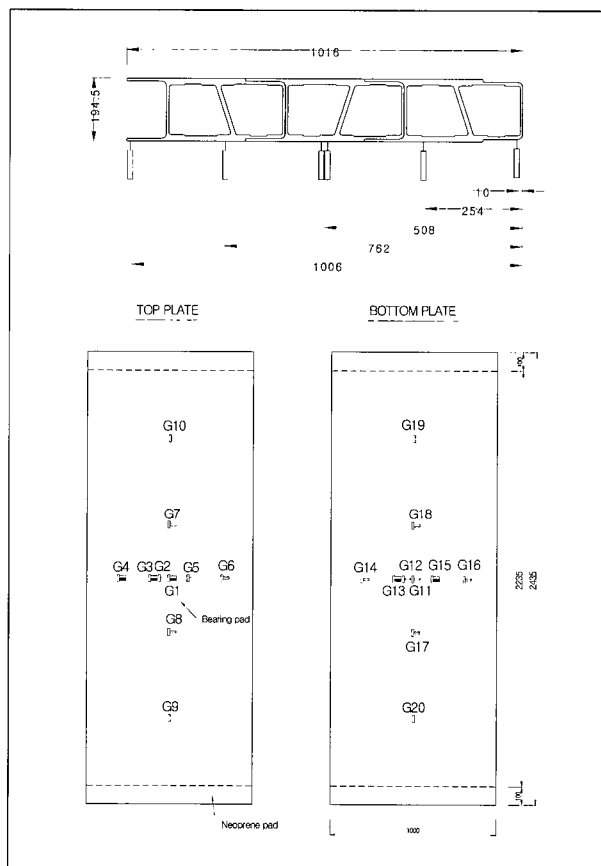


그림 11 듀라스팬 바닥판의 변형률 게이지와 변위계의 위치



사진 9 델타데크 바닥판 휨 시험후의 상부 파손 모습

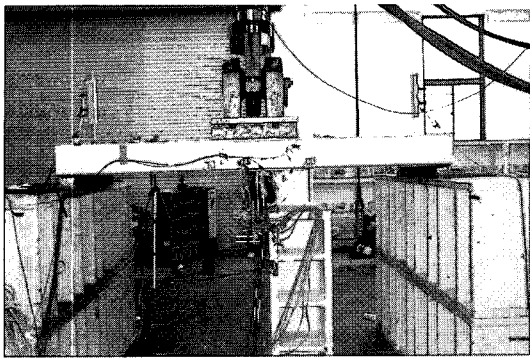


사진 10 듀라스팬 바닥판의 휨시험 모습

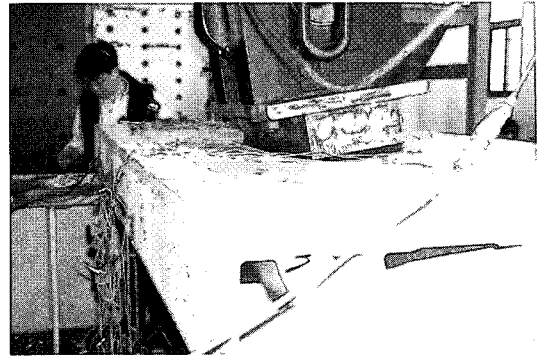


사진 11 듀라스팬 바닥판의 시험후 상부판 파손 모습

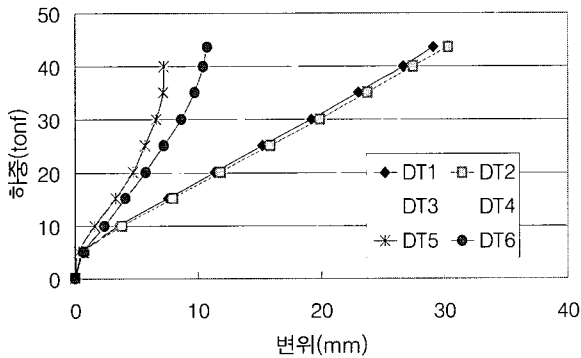


그림 12 듀라스팬 바닥판의 하중-변위곡선

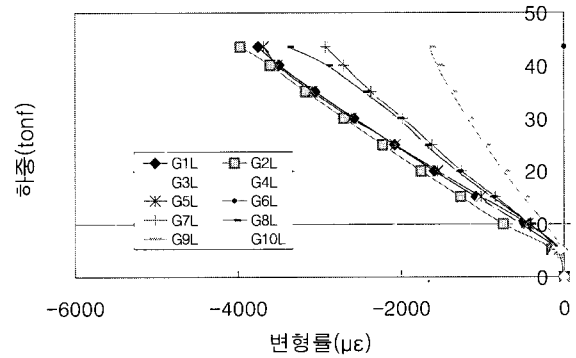


그림 13 듀라스팬 바닥판 상부의 하중-변형률곡선(L방향)

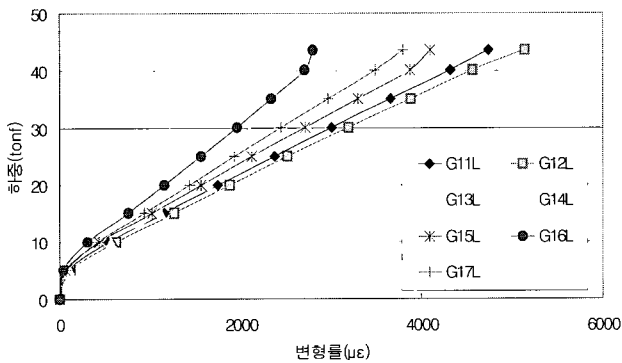


그림 14 듀라스팬 바닥판 하부의 하중-변형률곡선 (L방향)

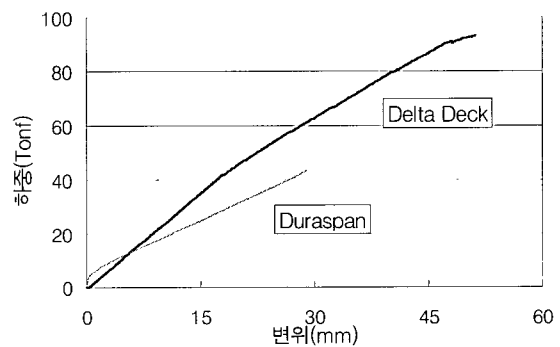


그림 15 델타데크와 듀라스팬의 하중-변위곡선 비교

보여주고 있으며, 그림 9에서 그림 10에는 바닥판 상하부의 하중-변형률 곡선을 보여주고 있다. 사진 9에서는 시험 후 바닥판 상부의 파손 모습을 보여주고 있다. 사진에서 보여주는 바와 같이 상부판에는 국부적인 파손만 발생하였는데, 이는 시험장비의 용량 부족으로 완전파괴까지 재하할 수 없었기 때문이다.

4.3 인발성형 복합소재 교량 바닥판 듀라스팬의 휨성능 시험

그림 11에서는 인발성형공정으로 제작된 미국 MMC사의 듀라스팬 바닥판에 대한 변형률 게이지의 위치와 변위계의 위치를 보여주고 있으며, 사진 10에서는 듀라스팬 바닥

판의 휨시험 모습을 보여주고 있다. 그림 12에서는 하중-변위 곡선을 보여주고 있으며, 그림 13에서 그림 14에는 바닥판 상하부의 하중-변형률 곡선을 보여주고 있다. 사진 11에서는 시험 후 바닥판 상부판의 파손 모습을 보여주고 있다.

4.4 휨성능 시험 결과

델타데크 바닥판과 듀라스팬 바닥판 모두 시험체 상부면이 파손될 때까지 하중을 재하 하였고, 바닥판이 파괴될 때까지 선형적인 거동을 보였다. 델타데크의 경우 최대 파괴하중은 93tonf이었으며, 이때의 최대 처짐은 51.9mm였다. 듀라스팬의 경우 최대 파괴하중은 44.2tonf였고, 최대 처짐은 30.2mm였다. 그림 8에서 볼때 44tonf 하중에서

델타데크의 치짐은 21mm 정도여서 델타데크는 듀라스팬에 비해 훨씬 강성이 큰 단면임을 알 수 있다. 파괴형태는 델타데크의 경우 93tonf일 때, 하중재하판에서 고무패드가 미끄러지면서 실험이 중단되었고, 듀라스팬의 경우 최대 파괴하중 44.2tonf일때 사진 11에서 보여주는 바와 같이 상판의 하중 재하부에서 국부적인 편칭파괴가 일어났다. 그림 15는 델타데크와 듀라스팬의 하중-변위곡선을 서로 비교한 것이다. 듀라스팬이 초기하중부터 7tonf까지는 델타데크와 비교하여 적은 처짐값을 보이거나 7tonf 이후에는 처짐이 증가하는 것을 볼 수 있다. 또한 최대 파괴하중에서도 델타데크가 2배 이상의 하중을 지지할 수 있음을 알았다.

표 3 델타데크와 듀라스팬 바닥판의 최대 파괴하중과 최대 처짐

구 분	최대 파괴하중(tonf)	최대 처짐(mm)
델타데크	93.0	51.9
듀라스팬	44.2	30.2

유리섬유 복합소재 교량 바닥판 델타데크와 듀라스팬의 휨시험결과, 파괴하중에 대해 휨에 대한 안전율을 평가해보면, 충격계수 1.3을 포함한 DB24 차량의 후륜 축하중이 12.48tonf 이므로 파괴하중에 대해 폭 1m 시험체의 윗하중 분포폭을 고려하지 않더라도 델타데크는 7.45(93 /12.48), 듀라스팬은 3.54(44.2/12.48)의 안전율을 가지고 있는 것으로 평가되었다. 또한, 도로교설계기준에서 DB24하중에 대한 충격계수와 사하중을 고려한 콘크리트 바닥판 설계 휨모멘트 값 5.17tonf-m와 비교하여 델타데크와 듀라스팬 모두 이를 초과한 휨모멘트값을 보였다. 교량 바닥판을 단순보로 가정했을 때 $M=PL/4$ 에 의해 구한 델타데크의 내하 휨모멘트 값은 51.84tonf-m로 콘크리트 바닥판 설계 휨모멘트에 비하여 10배 값을 나타내었고 듀라스팬의 휨모멘트 값은 24.61tonf-m로 4.76배의 값을 나타내었다. 보다 상세한 시험결과는 김정현(2001)을 참조하기 바란다.

5. 구조 해석

5.1 구조해석 모델링

필라멘트 와인딩 제작 바닥판 시험체의 구조해석을 위해 적층판해석이 가능한 COSMOS/M 프로그램을 이용하였다. Tsai-Wu 파괴해석을 위하여 SHELL44요소를 사용하여 구조해석을 실시하였다. 구조해석시 교량 바닥판의 각 부재마다 사용된 요소의 특성은 표 4와 같다.

복합소재 교량 바닥판의 구조해석에는 ESAComp를 이용하여 계산한 물성치를 사용하였다. 부재의 방향은 차량

진행방향에 평행한 방향을 X축, 진행방향에 직각인 방향을 Y축으로 정했다. Tsai-Wu 파괴해석은 상·하판과 복부판의 Y축 인장강도는 인장시편실험에 의한 최소값을 사용하였으며, 압축강도는 인장강도와 같다고 해석하였다. 또한 X축 인장강도와 압축강도는 방향별 섬유량에 근거하여 계산되었다. 표 5에는 구조해석시 사용한 재료의 물성치를 보여주고 있다.

표 4 유한요소해석모델 요소 특성

구 분	상 판	하 판	복부판
Element group 번호	1		
요소의 종류	SHELL44		
Shell 요소의 종류	4-node 4변형 요소		
요소의 적층수	1층	1층	1층
node의 응력 방향	재질방향		
파괴해석	Tsai-Wu 파괴해석		
샌드위치 판의 옵션	적층		

표 5 재료의 물성치

재료 구분	하 판	상 판	복부판	
MATERIAL PROPERTY 번호	1	2	3	
탄성계수	EX(kgf/cm ²)	132,665	124,405	125,731
	EY(kgf/cm ²)	167,131	178,858	182,631
프와송의 비(NUXY)	0.234	0.208	0.245	
전단탄성계수(GXY)(kgf/cm ²)	39,565	39,769	52,209	
비중(밀도, DENS)	0.00356	0.00164	0.00164	
Y축 인장강도(SIGXT)(kgf/cm ²)	1,597	1,444	1,782	
Y축 압축강도(SIGXC)(kgf/cm ²)	1,597	1,444	1,782	
X축 인장강도(SIGYT)(kgf/cm ²)	1,847	2,708	3,311	
X축 압축강도(SIGYC)(kgf/cm ²)	1,847	2,708	3,311	
전단강도(SIGXY)(kgf/cm ²)	720	720	925	

복합소재 교량 바닥판의 구조해석모델은 폭 100cm, 지점간 거리 234cm, 높이 19.5cm로 하였다. 교량 바닥판의 구성은 삼각형 단면 7개와 외곽에 사다리꼴단면 2개로 되어 있으며 휨시험용으로 제작된 시험체와 동일하게 모델링 하였다. 그림 16에서는 복합소재 교량 바닥판의 모델을 보여주고 있으며 그림 17에서는 교량 바닥판의 모델의 단면도를 보여주고 있다.

복합소재 교량 바닥판의 구속조건은 양 끝단을 단순지지로 하였다. 하중재하는 도로교설계기준에 의하여 폭과 길이의 비 2.5:1로 윗하중 접지면, 크기 577×230mm에 재하하였다.

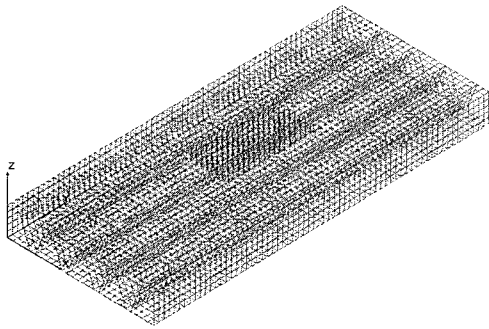


그림 16 복합소재 교량 바닥판의 해석모델

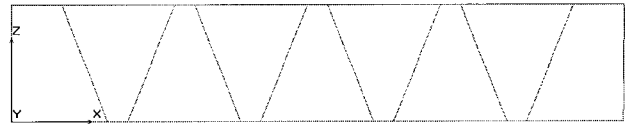


그림 17 복합소재 교량 바닥판의 해석모델 단면

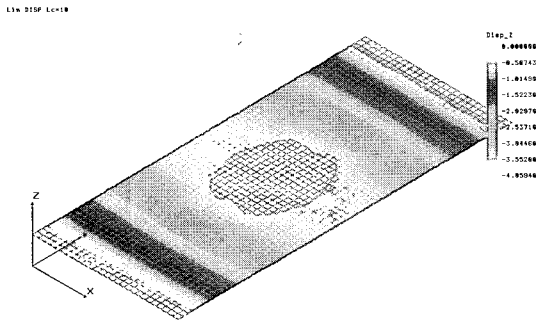


그림 18 중앙부 하중재하시 교량 바닥판 상판의 처짐

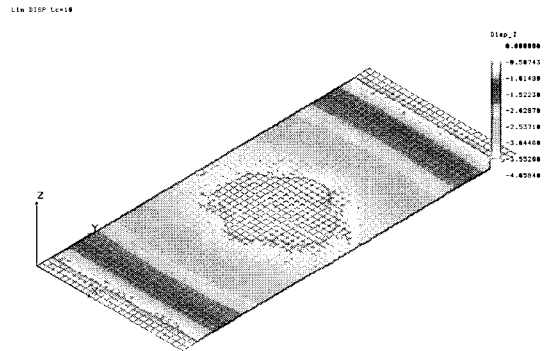


그림 19 중앙부 하중재하시 교량 바닥판 하판의 처짐

5.2 해석결과

그림 18에서는 중앙부에 파괴하중 93ton을 재하하였을 때 하중재하시에 복합소재 교량 바닥판 상판의 Z축방향 처짐을 보여주고 있고, 그림 19에서는 하판의 Z축방향 처짐을 보여주고 있다.

그림 20에서는 실험치와 해석치를 비교한 하중-변위 곡선을 보여주고 있다. 하중 40ton까지는 실험치와 일치하는 모습을 보이나 40ton 이후에서는 실험치의 변위값이 해석치 보다 다소 증가하는 것을 볼 수 있다. 이를 볼때, 본 연구의 해석모델은 실제거동을 잘 반영해주는 것으로 확인되었다.

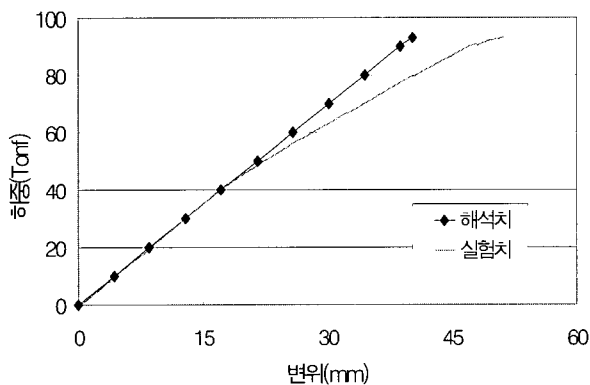


그림 20 실험치와 해석치의 하중-변위 관계

5.3 파괴해석

COSMOS/M 프로그램의 SHELL44 요소에 대해서는 Tsai-Wu 파괴해석을 수행할 수 있으며 파괴지수를 계산하는 공식은 다음과 같다.

$$F.I. = (F_1\sigma_1 + F_2\sigma_2) + (F_{11}\sigma_1^2 + F_{22}\sigma_2^2 + 2F_{12}\sigma_1\sigma_2 + F_{66}\tau_{12}^2) \quad (1)$$

여기서, $F_1 = \frac{1}{X_1^T} - \frac{1}{X_1^C}$, $F_2 = \frac{1}{X_2^T} - \frac{1}{X_2^C}$,

$$F_{11} = \frac{1}{X_1^T X_1^C}, F_{22} = \frac{1}{X_2^T X_2^C}, F_{66} = \frac{1}{S_{12}^2}$$

$$F_{12} = -\frac{1}{2} \sqrt{\frac{1}{X_1^T} \frac{1}{X_1^C} \frac{1}{X_2^T} \frac{1}{X_2^C}}$$

- X_1^T : x축 방향의 인장강도
- X_1^C : x축 방향의 압축강도
- X_2^T : y축 방향의 인장강도
- X_2^C : y축 방향의 압축강도
- S_{12} : x-y평면에서의 전단강도

파괴지수는 각 요소에 대해서 계산되며, 파괴지수가 1 이이면 파괴가 발생한다고 간주한다. 그림 21과 22에는 델타테크의 하중재하부에 대한 파괴지수를 보여주고 있고,

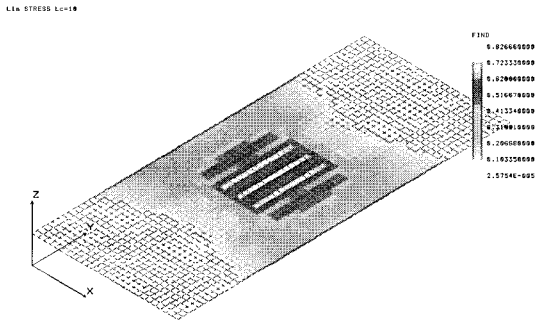


그림 21 하중 93ton일 때 상판의 파괴지수

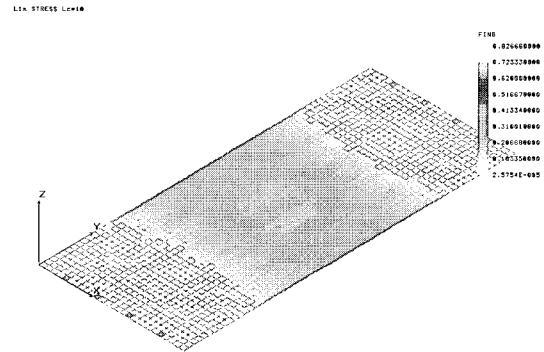


그림 22 하중 93ton일 때 하판의 파괴지수

표 6은 게이지 위치별 파괴지수를 보여주고 있다. 표에서 알 수 있는 바와 같이 상부판의 최대 파괴지수가 0.826으로 파괴기준인 1과 근사한 값을 보이므로 시험시 파괴조건과 잘 부합하는 것으로 평가되었다.

표 6 하중 93ton일 때의 파괴지수

구 분	게이지 번호	파괴지수	구 분	게이지 번호	파괴지수
상 판	1	0.826	하 판	11	0.354
	2	0.571		12	0.368
	3	0.741		13	0.392
	4	0.611		14	0.313
	5	0.741		15	0.392
	6	0.611		16	0.313
	7	0.562		17	0.261
	8	0.562		18	0.261
	9	0.107		19	0.118
	10	0.107		20	0.118

6. 결 론

본 논문에서는 필라멘트 와인딩 공정으로 제작한 삼각형 형상의 유리섬유 강화 복합소재 교량 바닥판 델타데크의 제작절차를 기술하였고, 3점 휨시험과 구조해석을 통해 휨특성을 분석하였다. 성능비교를 위해 미국 MMC사에서 인발성형으로 제작된 복합소재 교량 바닥판 듀라스펜도 동일한 조건하에 휨시험을 실시하였으며, 최대 파괴하중과 처짐, 변형률을 비교하였으며, 본 연구를 통해 다음과 같은 결론을 도출하였다.

1. 시제작한 복합소재 교량 바닥판 델타데크의 휨성능 시험결과, 최대 재하 하중은 93ton이며, 이때의 최대 처짐은 51.9mm였다. 이 파괴하중에 대해 충격을 포함한 DB24 하중 12.48tonf와 비교해보면, 폭 1m 시

험체에 대한 윤하중 분포폭을 고려하지 않더라도 안전율 7.45를 가지는 것으로 평가된다. 이는 너무 과도한 안전율로 향후 단면의 하향조정이 필요한 것으로 판단된다.

2. 미국 MMC사의 듀라스펜 바닥판의 휨성능 시험결과, 최대 재하 하중은 44.2tonf으로 델타데크가 약 2배 정도의 큰 내하력을 가지는 것으로 평가되었다.
3. 델타데크에 대한 유한요소해석을 실시한 결과, 40tonf 이상에서 실험치의 변위값이 해석치 보다 다소 증가하였으나 비교적 실제거동을 잘 반영해 주는 것으로 확인되었다.
4. 파괴하중에 대한 Tsai-Wu파괴이론을 이용한 파괴해석에서 상부판의 최대 파괴지수가 0.826으로 파괴기준인 1과 근사한 값을 보이므로 시험시 파괴조건과 잘 부합하는 것으로 평가되었다.

본 연구에서 개발된 델타데크는 단면이 삼각형이므로 횡방향 강성이 커서 구조적인 안전성을 확보하고 있으며 곡선교 및 변단면교에도 적용할 수 있고 제작비도 저렴하여 경쟁력을 확보하고 있으므로 멀지 않은 장래에 현장적용이 가능할 것으로 전망된다.

감사의 글

본 연구는 쌍용건설(주)와 국민대학교의 연구비지원에 의해 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

참 고 문 헌

김정현(2001) 유리섬유 복합소재 교량 바닥판의 휨특성 분석, 석사학위논문, 국민대학교

- 이성우, 이신구, 김정현**(2001) 경량 고내구성 복합소재 교량 바닥판의 개발, *대한토목학회 학술발표회 논문집*
- 주성애**(2000) 토목구조용 파형코어 복합소재 샌드위치 구조의 휨 거동특성, 석사학위논문, 국민대학교
- Chajes, M.**(1998) Advanced Composite Bridges in Delaware, *Proceeding of the 2nd International Conference on Composites in Infrastructure*, 1, pp.645~650
- Moon II, F.L.**(2000) Large-Scale Experimental Validation of an All-Composite Bridge and Deck Connections, Research Report, University of Delaware
- Stockton, S.L.**(1997) Composite Materials for Civil Engineering Structures, Technical Letter, 1110-2-548, U.S.Army