

# 착탈결구식 복합소재 바닥판의 연결부 거동분석

정규상\*·이성우\*\*

## Development of Composite Pedestrian Bridge Deck and Its Snap-fit Connection

Gyu Sang Jeong, Sung Woo Lee

### Abstract

Existing construction materials such as concrete and steel have chronic problems; deterioration and corrosion. Owing to its special features of light weight, high durability, anti-corrosion, composite material used in civil infrastructure can not only solve fundamental problems of deterioration and corrosion, but also reduce both construction and maintenance cost significantly. After the fabrication of deck panel with snap-fit connection by pultrusion through composite design according to stacking sequence of composite laminates and structural analysis, performance of decks will be verified and evaluated by structural tests.

**Key Words:** pedestrian bridge, snap-fit connection, pultrusion

### 1. 서론

복합소재는 경량·내부식·고강도 특성을 보유한 첨단 우주항공 신소재로서, 최근 건설분야에서도 콘크리트의 열화와 강재의 부식을 근본적으로 해결할 수 있는 제 3의 건설소재로 대두되었다. 차도교용 복합소재 데크는 주로 압수형태로 접착시켜 연결하고 있으나 시공시간이 길고 접착부 내구성의 미확인 등으로 새로운 연결방법을 개발할 필요성이 대두되고 있으며, 보도교용 복합소재 데크의 연결부에 대한 연구도 외국에서는 활발하게 진행되고 있다.<sup>1,2)</sup> Maunsell사와 Strongwell사에서 연구개발된 조립식 보도교 데크의 힌지방식 연결부의 단면이 휨 및 전단에 취

약하다는 사실에 주목하고 그 연결부 단면을 획기적으로 개량하기 위하여, 새로운 개념의 착탈결구식 복합소재 데크패널을 설계하고 제작하였다. 본 논문에서는 착탈결구식 연결부의 휨내하력을 평가하기 위하여 복합소재 데크패널에 대한 휨시험을 수행하고, 데크패널 연결시 착탈결구식 연결부에서의 응력상태를 평가하기 위하여 착탈결구식 연결부에 대한 결함시험을 수행하여, 바닥판 자체와 바닥판 연결부의 정하중에 대한 구조성능을 검증하였다.

### 2. 복합소재 바닥판 교량

#### 2.1 복합소재 차도교 바닥판

\* 국민대학교 구조안전연구소, 교신저자(email:gsjeong@kookmin.ac.kr)

\*\* 국민대학교 건설시스템공학부

복합소재 교량 바닥판은 내부식, 고내구성 특  
성으로 교량수명 연장, 생애주기비용 감소, 유지관  
리비 절감 및 빈번한 교체가 불필요하고 콘크리트  
바닥판 중량 대비 1/5이하의 경량특성으로 사하중  
경감, 하부구조 건설비용의 절감, 노후교량 성능개  
선시 하부보강 없이 내하력 증진 가능, 내진성능  
향상, 신속설치로 공기단축 및 교통통제기간을 최  
소화할 수 있어 건설분야의 매우 유망한 응용분야  
로 부각되고 있다. 미국내 복합소재 바닥판 시공실  
적은 약 90 여개 교량에 달하며 중국, 영국 및 유  
럽 등에서도 활발히 적용하고 있다. 사진 2.1에는  
Broadway Bridge(2004, 교장 : 78m, 교폭 :  
14m)에 복합소재 바닥판을 시공하고 있는 모습을  
보여주고 있으며, 사진 2.2에는 시공 완료 후 차량  
이 통행하고 있는 모습을 보여주고 있다

국내에서는 국민대학교와 (주)국민씨아이가 공  
동으로 개발하여<sup>2)</sup> 국내 최초로 복합소재 프리캐스  
트 교량 바닥판 기술을 건설교통부 신기술 제374  
호로 지정받아 실제 현장에 활발하게 적용하고 있  
다. 사진 2.3-사진 2.9는 현재까지의 적용 현황을  
보여주고 있으며, 그림 2.1-2.2는 2006년에 시공  
예정인 교량의 단면도를 보여주고 있다

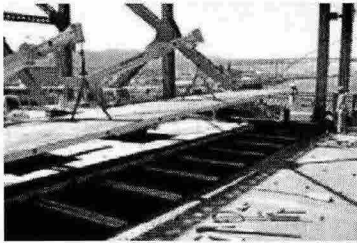


사진 2.1 Broadway Bridge 바닥판  
시공(미국, 2004)

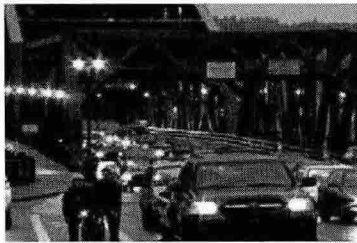


사진 2.2 Broadway Bridge 시공 완료  
후 차량통행(미국, 2004)

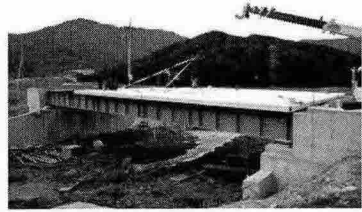


사진 2.3 개정교 시공 모습



사진 2.4 개정교 개통 후 모습

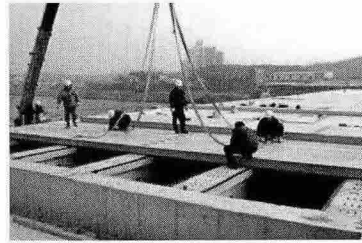


사진 2.5 평택항 진입교량  
시공 모습

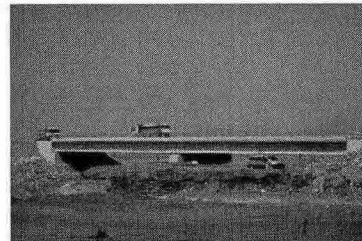


사진 2.6 평택항 진입교량  
개통 후 모습

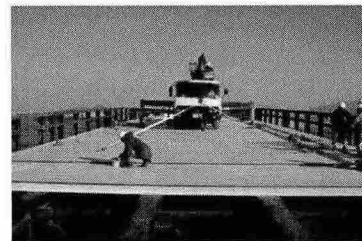


사진 2.7 광양항 진입교량  
시공 모습

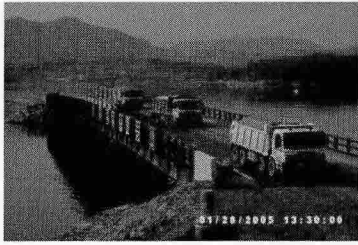


사진 2.8 광양항 진입교량 시공완료 후 중차량 통행모습



사진 2.9 청계천 비우담교 시공완료 (2004.6)

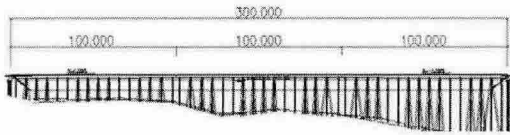


그림 2.1 놀차교 종단면도

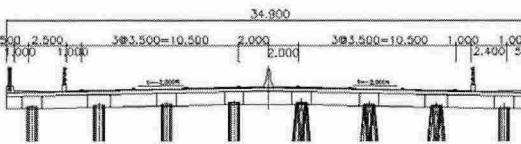


그림 2.2 놀차교 횡단면도

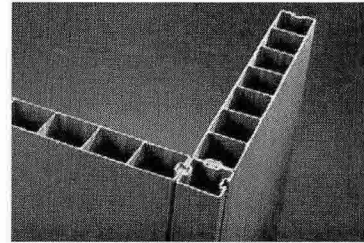


사진 2.9 건축용 복합소재패널(영국)

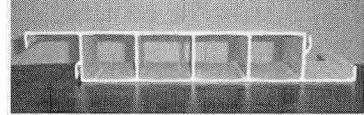


사진 2.10 착탈식 복합소재패널(한국)

을 경우 연결부가 벌어질 수 있으며, 토글의 강도가 낮고 휨, 전단 및 인장에 취약하기 때문에 패널의 연결강도가 낮다. 본 연구진은 간편하고 견고한 기계적인 착탈방식(스냅핏)에 착안함으로써 기존 ACCS의 단점과 한계를 극복한 새로운 개념의 패널연결법을 연구하였다.

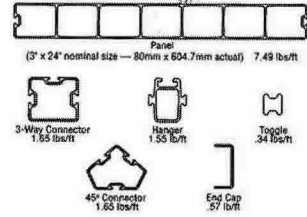


그림 2.3 복합소재 패널 및 연결부재(ACCS)

## 2.2 복합소재 보도교 바닥판

복합소재 패널 시스템은 복합소재 패널을 토글(toggle) 또는 착탈식(snap-fit) 체결방식 등을 통해 상호간 연결할 수 있도록 한 것이며, 복합소재 패널 시스템은 주로 벽체 및 지붕구조, 보도교 바닥판 등으로 사용한다. 사진 2.9에는 영국에서 개발된 복합소재 패널 시스템을 보여주고 있으며, 사진 2.10에는 국내에서 개발된 착탈식 복합소재 패널시스템을 보여주고 있다.

## 2.3 착탈결구식 연결부 개발

ACCS(그림 2.3)는 부품의 수가 많고 토글이 전단연결재 역할밖에 하지 않으므로 휨하중을 받

## 3. FE 해석 및 실험

### 3.1 FE 해석

제작용 바닥판에 대해 지점부에 평행한 방향으로 선하중을 재하하고 유한요소해석을 수행하였다(그림 3.1). 폭이 140cm이고 길이가 2.6m인 복합소재 테크패널 3개를 snap-fit으로 서로 연결한 실험체의 지점간 거리는 2.0m이다. 비접착식 연결부를 가진 패널의 최대처짐은 0.23cm, X방향 최대응력은 52.5kgf/cm<sup>2</sup>이고, 접착식 연결부를 가진 패널의 최대처짐은 0.22cm, X방향 최대응력은 44.3kgf/cm<sup>2</sup>이다. 강축 휨의 경우에는 비접착식 연결부에 걸리는 응력과 접착식 연결부에 걸리는 응력간에 큰 차이가 없었다. 결합시의 착탈식 연

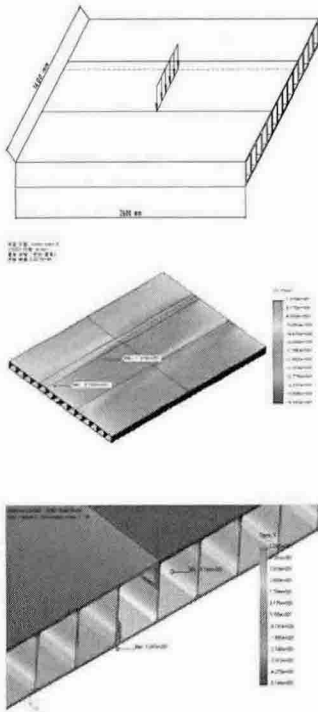


그림 3.1 2m 실험체 모델

결부의 최대 파괴 지수가 휨거동시의 바닥판의 최대 파괴 지수보다 훨씬 크므로 결합시에 연결부에 과도한 응력이 걸리지 않도록 착탈식 연결부를 설계하였다.

연결부의 설계과정을 요약하면 다음과 같다. 기존의 수평 접착방식을 수직 결구방식으로 대체하기 위하여 연결부가 스냅핏(snap-fit) 결합이 되는 단면형상을 설계하였고, 유한요소 해석을 통하여 그 거동특성을 분석하였다. 스냅핏 결합 방식의 상세와 관련하여 다양한 진입 각도의 형상에 대해 해석을 실시하였고, 그 결과를 비교 분석하여 최적 형상을 결정하였다(그림 3.2). 연결부의 적층설계는 테크패널의 적층설계와 동일하게 진행하였다. 본 과제에서 설계하려고 하는 Snap-fit 형상의 L(길이)가 2.5cm 이고, 상판에서 내려오면서 감싸는 섬유와 복부판에서 올라오면서 감싸는 섬유를 고려할 때 h(두께)는 4.5mm로 정하였고, 단차 Hmax는 2mm로 결정하였다. 그림 3.3에는 snap-fit 결합시 위로부터 가해지는 힘 F1과 snap-fit 해체시 가해지는 힘 F2를 보여

주고 있다.

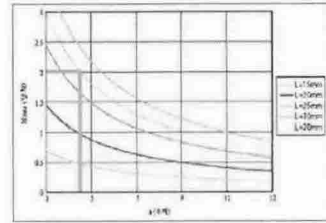


그림 3.2 Snap-fit 연결부의 최적단면 산출

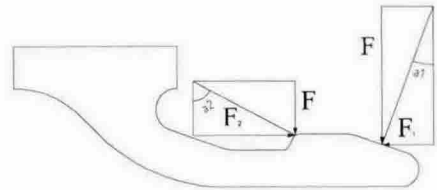


그림 3.3 결합시, 이탈시 하중 개념도

진입각을 작게 하여 결합시 필요로 하는 힘을 줄이고, 이탈각을 크게 하여 사용중 이탈을 방지하고자 하였으며 복합소재의 마찰계수는 무시할 수 있을 정도로 작다. Snap-fit 형상을 해석하기 위하여, 일정한 단면을 유지하면서 길이가 긴 구조물의 해석에 유용하게 사용될 수 있는 2D Plane Strain 요소를 이용하여 모델링하였다.

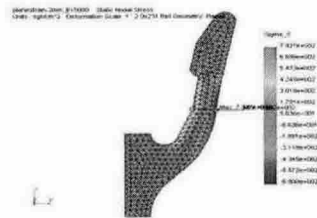


그림 3.4 강재변위 2mm의 수직방향 응력분포(선형해석)

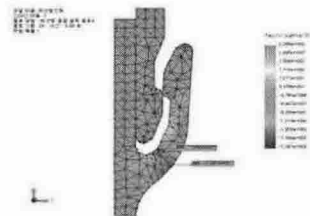


그림 3.5 비선형해석

모델의 경계조건은 고정단으로 하였으며 Snap-fit 목부분에서의 응력을 검토하였다. 선형 해석을 수행하기 위하여 H(단차)에 해당하는 강

제변위 2mm를 주었으며, 하중 100kgf 를 가하여 변위를 살펴본 후 2mm 변위를 일으키는 하중을 추정한 결과 하중이 1ton 일때 2mm 변위가 일어났다(그림 3.4). 최대응력이 발생하는 위치까지 비선형해석을 수행한 결과는 그림 3.5와 같다. 표 3.1은 스냅핏에 발생하는 최대응력을 보여주고 있다.

표 3.1 스냅핏 응력해석

Load	인장응력( $kgf/cm^2$ )			압축응력( $kgf/cm^2$ )		
	$\sigma_x$	$\sigma_y$	$\tau_{xy}$	$\sigma_x$	$\sigma_y$	$\tau_{xy}$
비선형해석	792	461	228	226	345	239
2mm 강제변위	761	669	336	187	599	243
F	1.0ton					
F1(진입시)	0.35ton	756	664	335	1186	594
F2(이탈시)	4.3ton					241

ply-by-ply 접근방법에서는 각 층에 발생하는 응력을 우선 얻어야 하나 전체 적층판 기준식에서는 적층판 전체에 직접 적용할 수 있다. 그 대신 적층판 이론과 구성성분관계(constitutive relationship)을 내포하지 않기 때문에 파손모드를 예측할 수는 없으며, 적층판 강도를 매번 새로운 설계시마다 시험으로 결정해야 한다는 번거로움이 따른다. 본 연구에서는 직접적인 적층판 기준식으로 Puppo-Evensen 기준식을 사용하였다.

착탈식 연결부의 거동 특성을 검증하기 위하여 상기 시험체에 대하여 결합시험을 수행하였다. 결합시험 결과 결합에 필요한 힘의 크기와 유한요소해석에 의해 계산된 값은 각각 0.4ton, 0.35ton으로서 거의 일치하였다.

### 3.2 실험

인발성형으로 제작된 복합소재 보도교 바닥판과 착탈식 연결부의 휨에 대한 거동 특성을 검증하기 위하여 비접착식 연결부와 접착식 연결부 시험체에 대하여 각각 휨시험을 수행하였다(사진 3.1). 휨시험 결과, 선하중이 주어진 중앙부 처짐이 증가하여 보도교 등분포하중(0.5ton/m<sup>2</sup>)에 의한 패널 중앙부 처짐값에 도달할 때까지 비접착식 패널의 착탈연결부 단차는 거의 발생하지 않음을 확인하였다. 접착식 패널과 비접착식 패널에 대한 휨시험 결과, 하중이 증가함에 따라 패널의 최대처짐은 두 패널간 별 차이를 보이지 않았다.

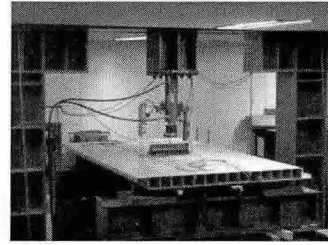


사진 3.1 휨시험 하중재하

## 4. 결론

본 논문에서는 인발성형공정으로 제작된 착탈식 복합소재 교량 바닥판에 대해 휨시험을, 착탈식 연결부에 대해 결합시험을 각각 수행하여 그 구조 특성을 분석하고 다음과 같은 결론을 얻었다:

1. 휨시험 결과, 보도교 등분포하중(0.5ton/m<sup>2</sup>)에 의한 패널 중앙부 처짐값에 도달할 때까지 착탈연결부 단차는 거의 발생하지 않음을 확인하였다
2. 결합시험 결과, 스냅핏 목부위에 크랙이 발생함을 확인하였다. 추가 제작 및 실험을 통하여 크랙의 원인을 규명하고자 한다.
3. 결합시의 착탈식 연결부 최대파괴지수가 휨 거동시의 바닥판의 최대파괴지수보다 훨씬 큰 값을 해석과 실험을 통하여 확인하였다.

## 후 기

본 연구는 한국과학재단(특정기초:R01-2004-000-10696-0)의 지원으로 수행되었으며, 과학기술부의 연구지원에 감사드립니다.

## 참고문헌

1. Bridge Engineering with Polymer Composites, Proceedings of COBRAE Conference, EMPA, Dübendorf-Zürich, Switzerland, 2005
2. 이성우외, "신속시공·경량·고내구성 복합소재 교량 바닥판 산업화 연구", 건설교통부 연구보고서, 2003