

# FRP 스트럿을 가진 PSC 박스거더교의 구조안전성 평가를 위한 실험 연구

## An Experimental Study for Structural Safety Evaluation of PSC Box Girder Bridge with FRP Struts

송 재 준\*

박 종 화\*\*

박 경 훈\*\*\*

조 병 완\*\*\*\*

Song, Jae-Joon Park, Jong-Hwa Park, Kyung-Hoon Jo, Byung-Wan

### Abstract

The structure of PSC box girder with FRP strut has a form of supporting the cantilever part in the widened upper slab by modifying the existing PSC box girder efficiently, and it is able to build an economical and aesthetically pleasing bridge as it reduces the size of the lower structure by reducing the self-weight of the upper structure. In this research, loading test of PSC Box Girder using full-scale mock-up was conducted and FEM analysis was performed. By comparing results, structural safety of the FRP strut and the upper slab following application of the strut in the PSC Box Girder Bridge were evaluated.

### 요 지

FRP 스트럿을 가진 PSC 박스거더 교량 구조는 기존의 PSC 박스거더를 효율적으로 변형시켜 넓어진 상부 슬래브의 캔틸레버 부분을 스트럿으로 지지하는 구조형식으로, 상부구조의 자중을 줄여 하부구조의 크기를 경감시키므로 경제적이고 미관이 뛰어난 교량 건설을 가능하게 한다. 본 연구에서는 국내에서 처음 시도되는 FRP 스트럿을 가진 PSC 박스거더의 실물모형 재하실험과 유한요소해석을 수행하여 상호 결과를 비교함으로써 FRP 스트럿을 가진 PSC 박스거더 교량 구조에서 FRP 스트럿과 스트럿 적용에 따른 상부 슬래브의 구조적 안전성에 대하여 평가하였다.

**Keywords** : FRP struts, PSC box girder, Edge beam

**핵심 용어** : FRP 스트럿, PSC 박스거더, 엣지빔

\* 정희원, 한국건설기술연구원 선임연구원

\*\* 정희원, 한양대학교 토목공학과 박사과정

\*\*\* 정희원, 한국건설기술연구원 선임연구원

\*\*\*\* 정희원, 한양대학교 토목공학과 교수

E-mail : jjsong@kict.re.kr 031-910-0639

• 본 논문에 대한 토의를 2008년 12월 31일까지 학회로 보내 주시면 2009년 3월호에 토론결과를 게재하겠습니다.

## 1. 서 론

국내에서 중지간 교량의 건설에 있어서 PSC 박스거더 교량형식은 타 형식의 교량에 비해 미관적·경제적 측면에서 우수하여 상당히 선호되고 있다. 그러나 기존의 PSC 박스거더 교량은 상부 슬래브의 폭이 넓어지면 박스단면이 커지게 되므로 교각 단면 역시 커지거나, 상·하행선을 분리 시공해야 하는 단점이 있다. 인천 제 2연육교 연결도로 3공구에 적용된 FRP 스트럿을 가진 PSC 박스거더교량은 상부구조를 PSC 박스형태로 하고 동시에 넓어진 교량 상판의 폭을 확보하기 위하여 캔틸레버 부분을 스트럿으로 지지하는 구조형식으로 캔틸레버 슬래브의 폭은 넓어지고 하부 바닥판의 폭은 좁아지므로 박스거더 단면적이 작아져 상부구조가 가벼워지게 되며 이로 인하여 교각의 단면적과 기초의 규모가 작아지는 장점이 있다. 이와 같은 스트럿을 가진 PSC 박스거더 교량형식의 교량으로는 최초로 건설된 RC 스트럿을 사용한 독일의 Kochertal교, 강관 스트럿을 사용한 프랑스의 Meaux교와 일본의 芝川高架橋, 복합재료(FRP) 피복 RC 스트럿을 사용한 일본의 内牧高架橋 등이 있다. 인천 제2연육교 연결도로 3공구의 교량 구조물의 스트럿 구조는 콘크리트 스트럿의 미관불량, 강재스트럿의 부식과 유지관리의 어려움, 연결 용접부의 피로문제 등을 효과적으로 개선하기 위하여 복합재료(FRP)를 피복재로 하는 RC 구조를 채택하여 미관향상 및 FRP 피복에 의한 부식방지, 내구성 증진을 확보할 수 있으며, 부가적으로 보강재로서 역할을 기대할 수 있다.<sup>(3)(4)</sup>

이 교량형식은 설계개념으로 볼 때 확실한 장점을 가질 수 있는 공법이며, 해석적으로 검증이 가능하지만 이론적인 검토가 실제와 얼마나 잘 부합하는지, 정량적으로 이론과 실제에 대한 거동평가를 수행한 후 실제 현장에 적용하는 것이 타당할 것이다. 따라서 본 연구에서는 실물모형 재하실험과 유한요소해석을 통하여 상호 결과를 비교함으로써 FRP 스트럿을 가진 PSC 박스거더 교량 구조에서 FRP 스트럿과 스트럿 적용에 따른 상부 슬래브 콘크리트 부재의 사용성 및 안전성에 대해 검증하고자 하였다.

설계하중에 대한 FRP 스트럿을 가진 PSC 박스거더의 안전성을 평가하기 위하여 FRP 스트럿을 가진 PSC 박스거더 교량의 실물모형 현장 재하실험을 수행하여 주요 부위별 변위 및 응력분포, 파괴내력 및 파괴현상 등을 분석하였다. 철근콘크리트 충전 FRP 스트럿을 가진 PSC 박스거더에 대한 관련 문헌을 검토하여 현장재하실험 전 대상구조물의 거동특성을 파악하고, 모형실험체 제원, 계측기 및 센서의 종류와 설치위치, 하중재하방법 및 위치, 재하장치 구성 및 설계 등 현장 실물 모형실험과 관련된 제반사항을 계획하였으며, 모형실험체의 제원은 실험목적에 부합되도록 하였다. 현장 실물 모형실험에 적용할 재하하중의 크기는 설계하중(DB-24)의 축중 및 재하방법을 고려하여 정하였으며, 하중재하에 필요한 반력상판 및 가력장치는 재하하중에 대해 강도가 확보되도록 설계하였다.<sup>(1)</sup> 또한 모형실험체의 응답측정은 FRP 스트럿, 상부 슬래브 및 엷지빔을 대상으로 하였으며, 주요 부위에 대한 변위와 변형률을 측정하였다. 본 논문에서는 재하실험에서 계측된 결과와 유한요소해석에 의한 결과를 비교하여 해석의 타당성과 실험체의 구조적 안전성에 대해서 고찰하였다.

## 2. 실험체의 설계 및 제작

### 2.1 모형실험을 위한 단면의 선정

FRP 스트럿을 가진 PSC 박스거더에 대한 실물모형 재하실험의 주목적은 스트럿, 상부 슬래브 및 엷지빔의 구조거동특성을 고찰하기 위한 것으로, FRP 스트럿으로 지지되는 상부 슬래브 및 엷지빔의 휨거동이 실험을 통해 구현되기 위해서는 최소한 2개 이상의 스트럿이 모형실험체에 포함되어야 한다. 보다 많은 수의 스트럿이 포함될수록 실제 구조물의 거동특성을 효과적으로 반영할 것으로 판단되지만 이에 따라 반력상판 및 실험 장비 등 실험에 필요한 제반 부대시설의 규모도 커지게 되므로 적절한 수준의 교축방향 제원을 결정할 필요가 있다. 제반 여건을 고려하여 모형실험체의 길이는 5m로 계획하였으며 스트럿은 양쪽에 2개씩 배치하였다. 해상표준구간 단면을 실험체 단면으

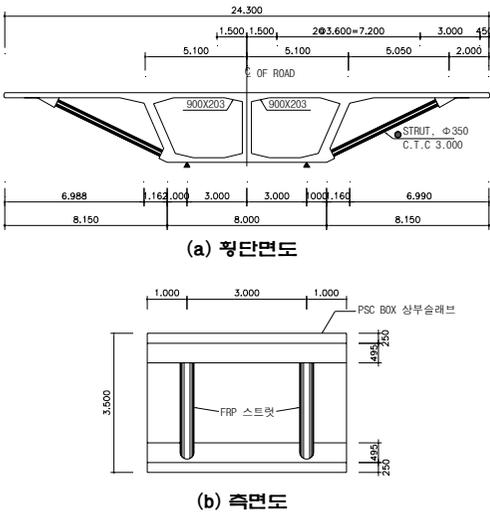


Fig. 1 실물모형 실험체 제원

로 선정하였으며 모든 제원은 실제교량과 동일하게 적용하였다. 실험체의 횡단면도 및 측면도는 Fig. 1과 같다.

## 2.2 경계조건 결정

실물모형 실험체에 적합한 경계조건을 결정하기 위하여 대상구조물을 3차원 Solid 요소로 모델링하였으며 점받침과 선받침으로 경계조건에 대하여 단위하중 (1tonf)을 재하하여 산출된 상부 슬래브의 응력 및 변위를 비교·검토하였다. 구조해석 결과 경계조건에 따른 상부 슬래브의 응력 및 변위의 결과 값은 큰 차이가 없는 것으로 나타났으나 점받침의 경우, 선받침의 경우에 비해 지점부 주위에서 응력의 집중이 예상되므로 현장 재하실험시의 안전 확보를 위해 선받침으로 정하였다.

## 2.3 실험체의 제작

실물모형 실험체는 Fig. 1에 나타난 단면을 토대로 실제 교량 제작 방법에 따라 선받침 조건으로 제작하였다. 스트럿은 FRP관 내부에 철근망을 조립하여 삽입한 후 콘크리트를 타설하여 프리캐스트 부재로 미리



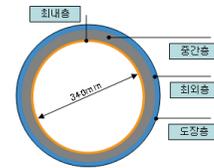
Fig. 2 모형실험체 전경

제작하였다. 스트럿을 설치 위치에 거치한 후 PSC 박스단면을 현장타설하여 제작하였으며 상부슬래브에는 횡방향으로 강선을 배치하여 39kgf/cm<sup>2</sup>의 압축력을 도입하였다. 제작이 완료된 실험체의 전경은 Fig. 2와 같다.

## 2.4 콘크리트 충전 FRP 스트럿의 특징

이 교량의 스트럿은 지진하중과 같이 극한하중의 작용시 붕괴유발부재로 고려할 수 있는 구조로서 피복콘크리트의 박락을 방지하기 위하여 FRP 외형관이 부착되어 있으며, 이 외형관은 스트럿을 제작할 때 거푸집으로의 역할도 한다. FRP 외형관의 섬유층 두께는 3.0mm로 단면 구성은 Table 1과 같이 4개 층으로 구성되어 있으며 각 층의 기능은 아래에 기술한 바와 같다.<sup>(2)</sup>

Table 1 FRP관의 단면 구성



구조	기능	두께	재료
최내층	콘크리트 알칼리에 대한 FRP의 내화학적	0.5mm	에폭시 수지
중간층	형상유지, 내력저항	3.0mm	유리섬유+에폭시 수지
최외층	UV차단, 내후/내화성, 차후 보수/보강대비	1.5mm	UV차단포+유리섬유+에폭시 수지
도장층	내후성, 미관	≥ 60μ	불소도장(유색)

### 3. 재하실험 및 계측

#### 3.1 하중조건

FRP 스트럿을 가진 PSC 박스거더를 모형화한 실험체의 스트럿 본체, 상부 슬래브 및 엣지빔의 거동특성을 파악하기 위해 Fig. 3에 나타낸 바와 같이 3가지의 하중조건을 정하였다. LC1은 상부 슬래브의 교축 및 교축직각방향 거동을 검토하기 위한 하중조건으로서 하중재하위치는 PSC 박스거더의 웨브와 스트럿으로 지지되는 엣지빔 사이의 상부슬래브 중앙에 해당한다. LC2는 엣지빔의 교축방향 거동을 주 대상으로 하며, 하중재하위치는 두 스트럿의 상부 슬래브 지지점의 중앙이다. LC3은 스트럿 본체가 검토대상으로서 스트럿 지점 바로 위에 하중을 재하하는 경우이다.

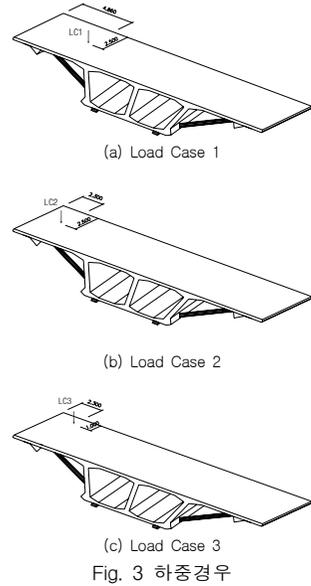


Fig. 3 하중경우

#### 3.2 재하하중의 크기

PSC 박스거더 상부 슬래브의 캔틸레버부에 재하 가능한 DB-24 설계하중 차량대수를 재하한 결과 3대 이상의 설계하중이 재하되면 부모멘트 효과에 의해 상부 슬래브 캔틸레버부 및 스트럿의 응답이 감소되어 2대를 재하한 경우가 실험체에 최대내력을 발생시키는 것으로 나타났다. 현장 실물모형 재하실험에 적용할 재하하중의 크기를 결정하기 위해 상부 슬래브, 스트럿 및 엣지빔의 각각에 대하여 최대응력이 발생하도록 설계하중과 재하하중과의 관계를 해석적으로 검토하였다. PSC 박스거더의 확폭부 상부 슬래브를 지지하는 스트럿에 최대 부재력을 발생시키도록 DB-24 설계하중이 2대 재하되는 경우를 1점 하중인 LC3 재하하중으로 환산하면 약 27.6tonf에 해당한다. 한편 상부 슬래브에 최대응력을 발생시키는 하중경우인 LC1은 10.9tonf의 하중을 가하였을 때 설계하중에 의하여 발생하는 응력과 동등한 크기의 응력이 발생하며, 엣지빔에 최대응력을 발생시키는 하중경우인 LC2는 25.3tonf 재하에서 설계하중에 의하여 발생하는 응력과 동등한 크기의 응력이 발생하는 것으로 나타났다. 재하하중은 모형교량의 거동을 조사하기 위하여 등가

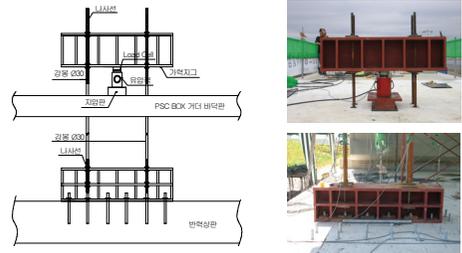


Fig. 4 하중재하 방법

설계하중의 약 2배에 해당하는 하중을 최대 재하하중으로 계획하였다.<sup>(2)</sup>

#### 3.3 하중재하방법

현장실물모형실험을 위한 재하장치는 재하판, 유압잭, 가력지그 및 강봉, 앵커볼트, 반력상판 등으로 구성되며, Fig. 3에 나타낸 3가지 하중조건에 대하여 Fig. 4와 같이 강봉을 상하 가력지그에 고정된 후 유압잭을 이용하여 1축 하중을 재하하였다.

#### 3.4 재하장치 구성 및 설계

유압잭에 의해 상부 슬래브에 하중을 재하하기 위해

상부 슬래브와 반력상판에 고정되는 가력지그 사이의 하중을 전달해주는 강봉의 구조적 안전성을 검토하였다. 사용된 직경 30mm의 강봉은 작용력과 비교하여 충분한 안전성을 확보하고 있는 것으로 확인되었으며 하중재하 시에 강봉의 변형률을 계측하여 강봉의 변형 발생 여부를 확인하였다. 또한 앵커볼트는 가력지그를 반력상판에 고정시킬 수 있게 하는 역할을 하므로 PSC 박스거더 상부 슬래브에서 유압잭으로 하중을 가했을 때 앵커볼트의 인장저항과 반력상판의 인장저항을 검토하였다. 앵커볼트는 인장저항 10.8tonf의 M24 힐티볼트를 사용하였으며, 콘크리트의 인장저항이 충분히 발휘될 수 있도록 삽입깊이를 결정하였다. 검토한 앵커볼트 및 콘크리트의 인장저항 검토 결과를 Table 2에 나타내었다.

유압잭으로 PSC 박스거더 상부 슬래브에서 하중을 재하하였을 때 반력벽 역할을 하는 반력상판의 구조안전

Table 2 앵커볼트 및 콘크리트의 인장저항

삽입 깊이	앵커볼트 수량(개)	앵커볼트 인장저항(tonf)		콘크리트 인장저항(tonf)	
		작용력	저항력	작용력	저항력
21cm	12	25	64.8	25	33.5

Table 3 반력상판의 부재력 검토

구 분	휨모멘트(tonf·m)		전단력(tonf)	
	작용 모멘트	공칭 휨강도	적용 전단력	공칭 전단력
고정하중	8.7	20.9	7.0	29.38
고정하중 + LC1	9.8		7.7	
고정하중 + LC2	13.1		9.9	
고정하중 + LC3	15.8		18.2	

Table 4 부착센서의 종류 및 수량

센서종류		수량(개)	비고
상부슬래브		31	상부 슬래브 상·하면에 부착 콘크리트 내부에 매립 상부 슬래브 하면에 콘크리트 변형률계 부착(3개)
스트럿	내부철근	18	콘크리트 내부에 매립
	FRP	54	FRP 스트럿 외부에 부착
변위계		19	상부 슬래브 하면 FRP 스트럿 수직변위 반력상판 수직변위

성 검토를 수행하였다. 지반 위에 올려진 반력상판의 거동을 모사하기 위하여 반력상판을 3차원 Shell 요소로 모델링 하였으며, 지반은 압축에 대해서만 저항하는 비선형 스프링요소를 적용하여 구조해석을 수행하였다. 구조 해석은 LUSAS V13.5-7 및 기타 S/W를 사용하였으며, 구조해석에 적용된 콘크리트와 철근의 강도 및 탄성계수는  $f_{ck}=300\text{kgf/cm}^2$ ,  $E_c=257,980\text{ kgf/cm}^2$ ,  $f_y=4,000\text{kgf/cm}^2$ ,  $E_s=2,000,000\text{kgf/cm}^2$ 이다. 구조해석에 따른 부재력의 검토 결과는 Table 3과 같다. 고정하중 및 3가지 하중조건 모두 휨모멘트는 공칭휨강도를 충분히 만족하고, 전단력 또한 별도의 전단철근을 배치하지 않아도 콘크리트 단면이 전단력을 견딜 수 있는 것으로 나타나 반력상판은 구조적으로 안전한 것으로 판단되었다.

### 3.5 센서 종류 및 설치위치

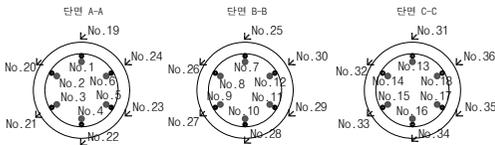
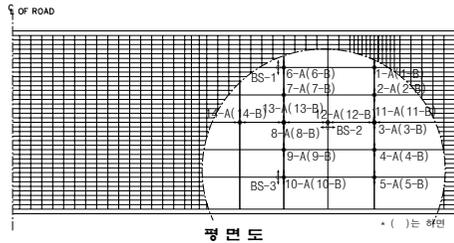
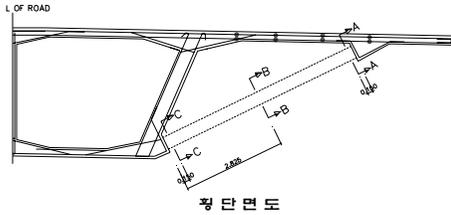
PSC 박스거더 상부 슬래브, 앳지빔, 스트럿 본체 및 정착부의 실거동특성을 충분히 반영할 수 있도록 강재 및 콘크리트 변형률 게이지와 변위계를 하중재하 위치에 따른 최대응답을 산출할 수 있는 위치에 설치하였으며, 이때 PSC 박스거더 상부 슬래브 및 스트럿 내부에 부착하는 강재변형률 게이지는 내부의 철근에 부착하였다. 부착센서의 종류 및 수량은 Table 4와 같으며 변형률 게이지의 부착위치와 변위계의 설치위치는 Fig. 5와 같다.

## 4. 해석적 고찰 및 실험결과 분석

### 4.1 실험체의 해석

재하실험 결과를 해석 결과와 비교, 검토하기 위하여 유한요소해석을 수행하였다. 사용한 프로그램은 ABAQUS 6.5.1이며, 설계하중에 대한 안전성 검토를 목적으로 하므로 탄성해석을 수행하였다. FEM 모델링은 콘크리트는 Solid 요소(요소 수 78,824개), FRP는 Shell 요소(요소 수 3,599개)를 적용하였다. Fig. 6은 FEM 모델링의 개요를 보여주고 있다. 경계

### 센서배지도(변형률계)



### 센서배지도(변위계)

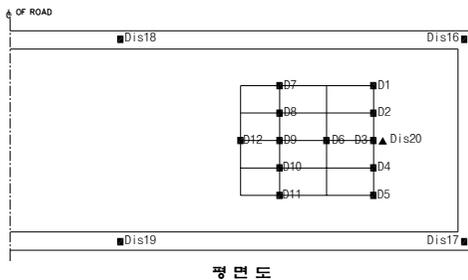
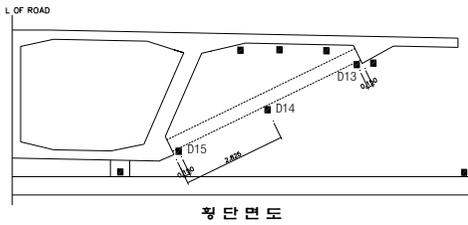


Fig. 5 변형률 게이지 및 변위계 배치도

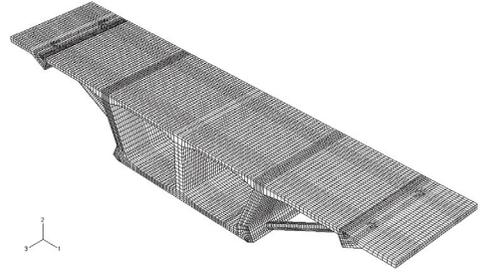


Fig. 6 FEM 모델링

Table 5 재료의 물성치

구 분	탄성계수 (MPa)	Poisson 비	비고
콘크리트	2.8E4	0.18	-
FRP	2.01E4	0.28	원주방향
	0.92E4	-	길이방향

조건은 양 지점부의 평면 자유도를 고정하고 하중이 재하되는 반대편 지점부의 연직 자유도는 5개의 앵커 볼트로 고정된 것으로 하였다. 모델링에 적용된 재료의 물성치는 Table 5와 같다.

## 4.2 실험결과 분석

구조물의 거동을 대표할 수 있는 부위의 계측결과를 이용하여 실험결과와 해석결과를 비교, 분석하였다. 변위는 교축방향 직각으로 거더 길이의 중앙부에 설치된 변위계의 측정결과를 고려하였으며, 변형률은 상부 슬래브의 중앙부에 설치한 변위계 위치의 콘크리트 내부 상하부 철근에 부착된 변형률 게이지를 고려하였다. 또한 스트럿의 거동을 고찰하기 위하여 스트럿의 상단 및 하단에 부착한 변형률 게이지와 내부철근에 부착한 변형률 게이지의 축방향 변형률을 비교하였다.

### 4.2.1 하중조건 1 (LC1)

LC1은 박스거더의 웨브에서부터 스트럿으로 지지되는 상부 슬래브의 안전성을 평가하기 위한 경우로, 해석결과 상부 슬래브에 최대 응력이 발생하도록 재하한 설계하중(DB-24)에서 슬래브에 발생하는 응력은 1.12MPa이며, 이와 동등한 응력이 발생하는 LC1의

재하하중은 약 10.9tonf 이다. 실험결과, Fig. 7의 교축방향 하중-변형을 곡선은 재하하중 28tonf 부근에서 상부 슬래브 하면의 철근에 부착한 게이지의 변형률이 급격히 증가하는 것을 보여주며, 이로부터 재하하중 30tonf 정도에서 슬래브 하면에 교축직각방향으로 균열이 발생하기 시작하는 것으로 판단되나 균열을 육안으로 확인하지는 못하였다. 해석결과에 의하면 28tonf에서 바닥판 교축방향의 응력은 약 2.9MPa로 균열발생응력(4.0MPa)에는 도달하지 않으며 균열이 발생하는 재하하중은 35.5tonf 정도인 것으로 추정되었다. 이때 균열발생응력은 도로교설계기준(2005)을 참고하여  $0.63\sqrt{f_{ck}}$  ( $f_{ck}$ 는 콘크리트의 설계기준강도)로 계산하였다. 그러나 교축직각방향으로는 텐던에 의한 긴장력 도입으로 인하여 교축방향과 같은 급격한 변형률의 증가는 발생하지 않으며 균열 또한 발생하지 않은 것으로 판단된다(Fig. 8). Fig. 9는 LC1에서 슬래브의 하중-변위곡선을 나타내고 있으며, Fig. 10은 30tonf 재하 시 상부 슬래브 하면의 교축방향 응력분포를 나타내고 있다. 하중-변위관계는 선형으로

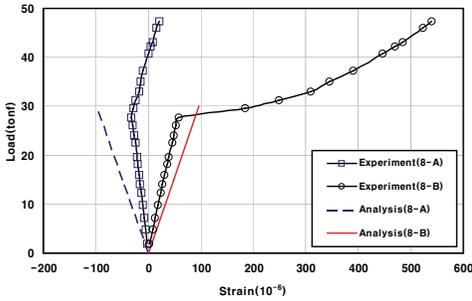


Fig. 7 LC1 재하시 상부 슬래브 교축방향의 변형률

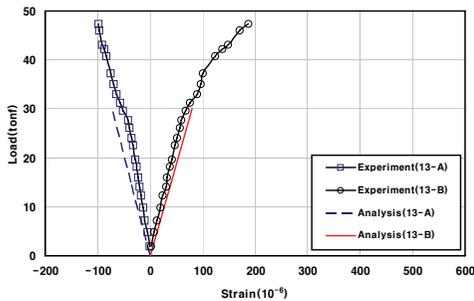


Fig. 8 LC1 재하시 상부 슬래브 교축직각방향의 변형률

변화하고 재하실험결과와 해석결과가 유사하게 나타났다. 이로써 설계하중범위 내에서 하중-변위관계는 탄성 FEM 해석으로 추정할 수 있다고 판단되며, 상부 슬래브에 최대 응력이 발생하는 설계하중과 동등한 응력이 발생하는 LC1의 재하하중은 10.9tonf 정도이므로 설계하중 상태에서의 안전성은 충분히 확보된다고 판단된다.

#### 4.2.2 하중조건 2 (LC2)

LC2는 상부 슬래브를 지지하고 있는 스트럿 사이의 엷지빔 중앙에 재하하는 경우로 스트럿의 거동과 엷지빔의 교축방향 거동을 분석하기 위하여 고려된 하중재하 위치이다. 엷지빔에 최대 휨응력이 발생하도록 재하 한 설계하중(DB-24)에서 발생하는 응력과 동등한 응력이 발생하는 LC2의 재하하중은 약 25.39tonf 이다. 스트럿에는 전체적으로 압축응력이 발생하고 실험값과 해석값이 거의 동일하며, 등가설계하중 25.39tonf에서 3.71MPa 정도로 콘크리트의 허용압축 응력(16.0MPa:  $0.4 \cdot f_{ck}$ )과 비교하여 안전한 것으로 나타났다.

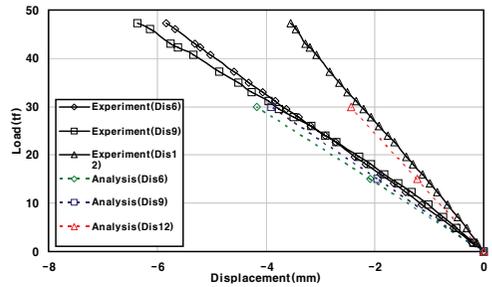


Fig. 9 LC1 재하시 슬래브의 하중-변위

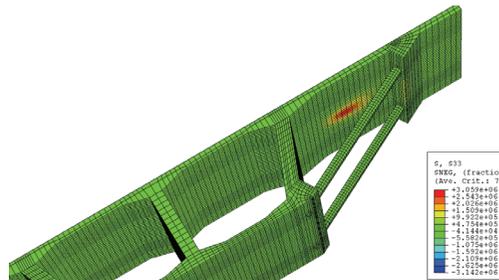


Fig. 10 LC1 재하시 슬래브 하면의 응력분포도

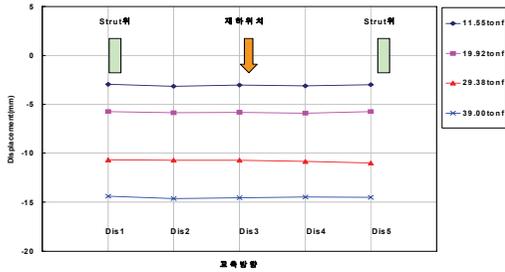


Fig. 11 LC2 재하시 엷지빔의 변위 양상

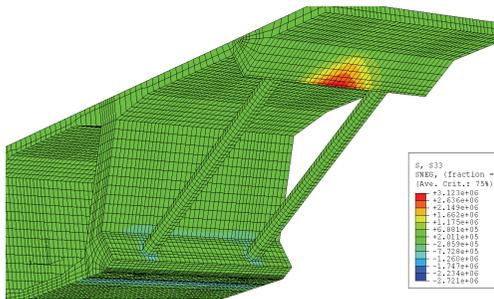


Fig. 12 LC2 재하시 엷지빔의 응력분포도

엷지빔은 Fig. 11과 같이 재하하중의 증가에 따라 스트럿 사이에서는 전체적으로 균일한 처짐을 보여주며 높은 강성을 지니고 있는 것으로 나타났으며, 해석 결과 엷지빔 중앙부 하면에서 등가설계하중 25.39 tonf에서 2.63MPa 정도의 인장응력이 발생하나 설계하중에서 균열은 발생하지 않는 것으로 판단되며 40tonf의 하중재하 후에도 균열을 관측하지 못하였다. Fig. 12는 30tonf 재하 시 엷지빔의 교축방향 응력분포를 나타내고 있다.

#### 4.2.3 하중조건 3 (LC3)

LC3은 상부 슬래브를 지지하는 스트럿 지점 바로 위에 1점 하중을 재하하는 경우로서 스트럿 본체의 안전성을 평가하기 위한 하중경우이다. 설계하중 (DB-24)에 의해 스트럿에 발생하는 최대 응력과 동등한 응력이 발생하는 재하하중은 약 27.6tonf 이다. 스트럿에서는 전체적으로 압축력이 발생하며 실험값과 해석값이 거의 일치하는 것으로 나타났으며(Fig. 13), 설계하중 범위 내에서의 하중-변위 관계는 탄성 FEM

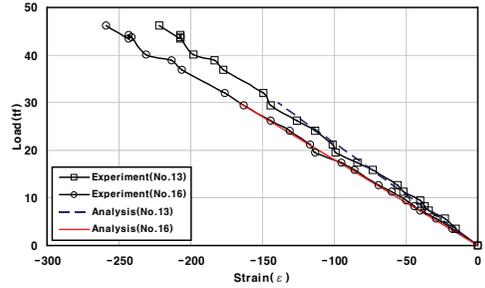


Fig. 13 LC3 재하시 스트럿 하부의 변형률

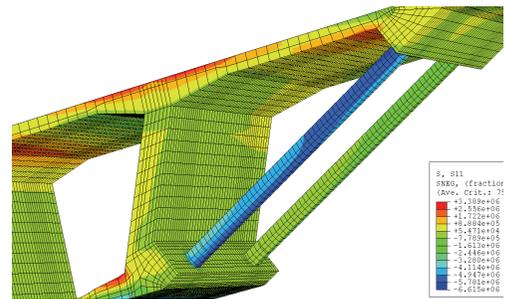


Fig. 14 LC3 재하시 스트럿의 축방향 응력분포도

해석으로 추정할 수 있다고 판단된다. Fig. 14는 LC3에서 30tonf의 하중이 가해졌을 때 스트럿의 축방향 응력분포도(max. -6.62MPa)이며, 설계하중 상태에서 스트럿의 안전성은 충분히 확보된다고 판단된다. 특히 LC3은 스트럿의 안전성을 확인하기 위하여 3가지 하중조건에 대한 재하실험 종료 후 최대 60tonf까지 하중을 다시 재하하였으나 스트럿 본체와 스트럿과 박스거더의 접합부에서 어떠한 손상징후도 발견되지 않았다.

#### 4.3 결과 고찰

국내 최초로 건설되는 콘크리트 충전 FRP 스트럿을 가진 PSC 박스거더 교량의 안전성 평가를 위하여 현장 실험모형 재하실험을 수행하고, 재하실험과 유한요소해석 결과의 비교, 분석을 통하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- FEM 해석결과와 전반적으로 실험결과에 근접한 결과를 나타내었으며, 실제 설계하중과 등가의 재

하중중에 대해서 실험 및 해석에 의한 결과 모두 안전측의 결과를 나타내었다.

- 실험결과 상부 슬래브 콘크리트에서 슬래브 하면 철근의 변형률은 재하하중 28tonf까지 선형거동을 나타내며, 설계하중에 의하여 슬래브 콘크리트에 최대내력이 발생하는 등가의 재하하중 10.9tonf에 대하여 충분한 내하성능을 가지고 있는 것으로 판단된다.
- 엣지빔의 경우, 하중의 증가에 따라 엣지빔이 전체적으로 균일한 처짐을 나타내어 높은 강성을 지니고 있는 것으로 나타났다. 엣지빔 중앙부 하면에서는 상대적으로 큰 응력이 발생되나 등가설계하중 25.3tonf 보다 큰 38.8tonf 부근에 이르러야 균열응력을 초과하는 것으로 나타나므로 설계하중중에서 안전성을 확보하고 있는 것으로 판단된다.
- 스트럿은 고려된 하중경우에 대해서 실험값과 해석값 모두 전체적으로 압축응력만 발생하였으며, 60tonf의 재하 하중에서도 스트럿 본체 및 연결부의 손상은 관측되지 않았다. 따라서 스트럿을 가진 PSC 박스거더교에서 FRP 스트럿은 충분히 내하성능을 발휘하는 것으로 판단된다.

## 5. 결 론

본 연구에서는 국내에서 처음 시도되는 기존의

PSC 박스거더 교량형식을 보다 효율적으로 변형시켜 캔틸레버 상판을 경사진 스트럿으로 지지하는 PSC 박스거더 교량에 대한 실물모형 재하실험을 수행하였다. 실물모형 재하실험 결과 PSC 박스거더 및 FRP 스트럿은 설계하중 하에서 강도 및 사용성 측면에서 안전성을 확보하고 있는 것으로 판단되며 스트럿을 가진 PSC 박스거더교는 앞으로 경제적이고 아름다운 새로운 교량형식으로 널리 사용될 것으로 기대된다.

## 참고문헌

1. 건설교통부, "도로교설계기준", 한국도로교통협회, 2005.
2. 현대건설, "콘크리트 충전 FRP 스트럿을 가진 PSC 박스거더의 안전성 평가", 한국건설기술연구원, 2007.
3. 박종화, 임택기, 장인호, 조병완, "FRP피복 콘크리트 스트럿 PSC 박스거더교의 적용사례 연구", 대한토목학회 정기학술대회, 대한토목학회, 2005, pp. 49-52.
4. Yasuo Fukunaga, Koji Osada, Toyoshige Nakajima, Minoru Nisisu, "Design and experimental research of prestressed concrete box girder bridge supported cantilevering deck slab with inclined struts", Advanced design and construction of prestressed concrete structures, 2002, pp. 415-422.

(접수일자 : 2008년 2월 4일)

(심사완료일자 : 2008년 10월 15일)