

초간편 강합성 바닥판 거더패널의 가설중 거동에 관한 해석적 연구

한득천*, 최승호*, 윤기용*, 이규세*, 김상섭**
선문대학교 토목공학과*
한국기술교육대학교 건축공학과**
e-mail: kyyoon@sunmoon.ac.kr

An analytical study on behavior of the girder pannel in simplified composite deck during construction

Deuk-Choen Han*, Seung-Ho Choi*, Ki-Yong Yoon*
Gyu-Se Yi*, Sang Seup Kim**
Dept of Civil Engineering, Sunmoon University*
Dept of Architectural Engineering, KUT**

요 약

최근 현장타설 바닥판의 대안으로 강합성 바닥판을 이용하여 바닥판의 공용년수를 증진시키고 공기 단축 및 시공의 간편성, 교통흐름의 원활화등을 위한 연구가 활발히 이루어지고 있다. 본 논문에서는 기존 I형강 매입형 강합성 바닥판을 기본으로 한 새로운 형식의 초간편 강합성 바닥판을 제시하여 거더패널의 거동에 대해 연구하였다. 하부강판과 I형강의 용접량의 변화, I형강의 복부에 유공 유무, 유공의 위치변화에 대한 특성을 파악하였다. 이때 H형강의 상부 플랜지는 강판과 용접된 것으로 가정하였으며, 가설시 합성전 단면에 대한 거동 분석이므로 하중은 강판, I형강, 콘크리트의 자중만 고려되었다. 연구결과, 하부강판과 I형강의 용접길이 변화시 전체용접에 비해 30%용접을 수행시 중앙부 단면에서 최대 휨 인장응력이 증가하는 결과를 보였으며, I형강 복부에 유공이 있을시 유공이 없는 경우 보다 처짐량이 약간 증가함을 확인하였다. 또한 I형강 복부의 유공 위치를 변화시킨 결과 거더패널 강바닥판의 거동에는 영향을 받지 않는 것으로 나타났다.

1. 서론

최근 자동차 기술의 발달 및 도로의 확장과 노선의 다양화로 인해 도로의 파손이 증가하고 있다. 그중 교량의 바닥판은 차량하중을 직접 받고, 날씨의 영향에 노출되어 있어, 교량의 주요 구조 부재중에서 가장 많이 손상을 받는다. 따라서 바닥판의 보수를 최소화하고 수명을 연장하기 위해서 바닥판의 강도와 내구성 증진이 필수적이다. 또한 기존 현장타설 콘크리트 바닥판의 가설은 시공현장에서 거더가 하부구조에 거치된 후 거더에 바닥판을 가설하기 위한 동바리를 직접 설치하고, 거푸집을 제작하고, 철근을 배근한 후 콘크리트를 타설하기 때문에 여러 가지 제약조건이 따르게 된다.

본 연구에서 제안된 초간편 강합성 바닥판은 공장
에서 패널이 제작되어 시공현장으로 운반 후 조립하

여 배력철근을 배근하고 콘크리트를 타설하기 때문에 기존의 현장타설 콘크리트 바닥판보다 시공의 간편성을 확보하고 시공기간을 단축시켜 직접적인 공사비 절감뿐 아니라 교통의 조기 소통으로 인한 사회 간접적 비용절감효과를 기대할 수 있다. 여기서 적용된 바닥판은 I형강 매입형 강합성 바닥판을 토대로 고안되었으며, 기존 강합성 바닥판과 달리 가설시 거더의 횡-비틀 좌굴을 방지하도록 거더의 압축플랜지를 고정하게 된다. 또한 기존에 연구되었던 유공I형강을 통하여 가설시 강판에 단속 필렛용접을 통하여 거더의 횡-비틀 좌굴을 방지하기 위한 강성을 제공하고, 콘크리트 경화 후 강합성 바닥판으로 역할을 수행하기 위한 인장철근의 역할을 수행한다. 이에 따라 거더의 강성을 확보하기 위해 I형강과 강판의 맞닿는 부분의 용접량을 변화시켰으며, I형강

복부에 유공 유무 및 위치변화에 따른 인장 및 압축 철근 역할을 해석적 평가하였다. 따라서, 본 연구에서는 범용유한요소해석프로그램인 ABAQUS를 이용하여 새로 제안한 초간편 강합성 바닥판의 거더패널을 모델링하였고, 합리적인 결과비교를 위해 수계산(Euler Beam이론), 보(Beam)모델, 셸(Shell)모델, 솔리드(Solid)모델을 통하여 처짐과 응력을 비교 분석하였다.

2. 해석모델

초간편 강합성 바닥판의 구성이 되는 거더패널과 연결패널 중 가설시 거더패널의 거동특성을 파악하기 위해 각각의 변수를 두어 단순 모델링화 하였다.

2.1 해석모델의 재원 및 구성

해석 모델은 그림 1과 같으며, 강판에 용접된 I형강은 교축방향으로 400mm간격으로 일정하게 배치되므로 가설시 바닥판의 거동을 분석하기 위해 폭 400mm를 독립하여 거동을 파악했다. 해석에 적용된 재료의 물성치는 표 1과 같다.

- 하부강판 두께 : 6mm (폭 2.3m)
- 유공I형강(I-100×75×5×8) 배치간격 : 400mm
- H형강(H-800×300×14×26) 배치간격 : 1.5m

표 1. 사용 재료별 물성치

사용 재료	단위 중량 (N/mm ³)	항복 강도 (MPa)	탄성 계수 (GPa)	허용 응력 (MPa)	포아손 비	연신율 (%)
강재 (SS400)	0.0000785	240	210	140	0.3	17
콘크리트	0.0000250	-	-	-	-	-

초간편 강합성 바닥판의 가설시 거더패널의 해석을 위해 그림1과 같이 H형강 복부판 위치에서 단순 지지된 거더패널 바닥판에 대하여 I형강과 하부강판이 완전 용접된 경우를 가정하여 모델링 하였다.

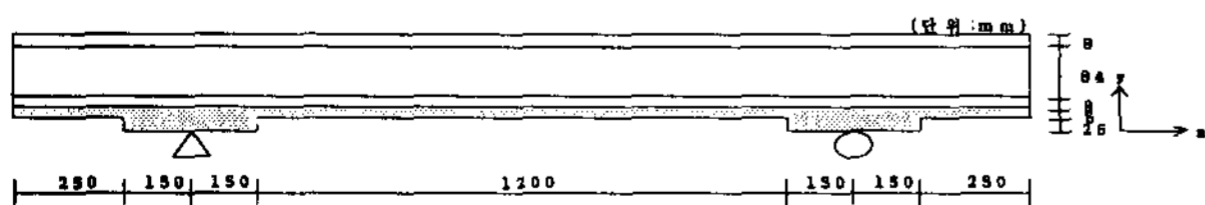


그림 1. 거더패널 강바닥판의 구성

2.2 거더패널의 해석모델 개발 및 결과

앞선 해석모델을 토대로 수계산, 보(Beam)요소, 셸(Shell)요소, 솔리드(Solid)요소를 비교하였으며, 이

때 하중은 가설시 합성전 단면에 대한 거동을 분석하는 것이므로 콘크리트는 강바닥판에 작용하는 고정하중으로만 고려하였고, 해석시 사용한 하중은 표 2와 같이 각 구성요소의 자중만 고려하였다.

표 2. 해석에서 고려한 하중(자중)

	단위중량 (N/mm ³)	단면적 (mm ²)	단위길이당 자중(N/mm)
I형강	0.0000785	1,620	0.12717
강판		2,400	0.18840
콘크리트	0.0000250	60,000	1.50000

이때 솔리드(Solid)모델시 I형강과 강판의 합성정도를 그림2와 같이 4가지로 나누어 비교하였으며, 강판폭 변화에 따른 모델링을 하였다.

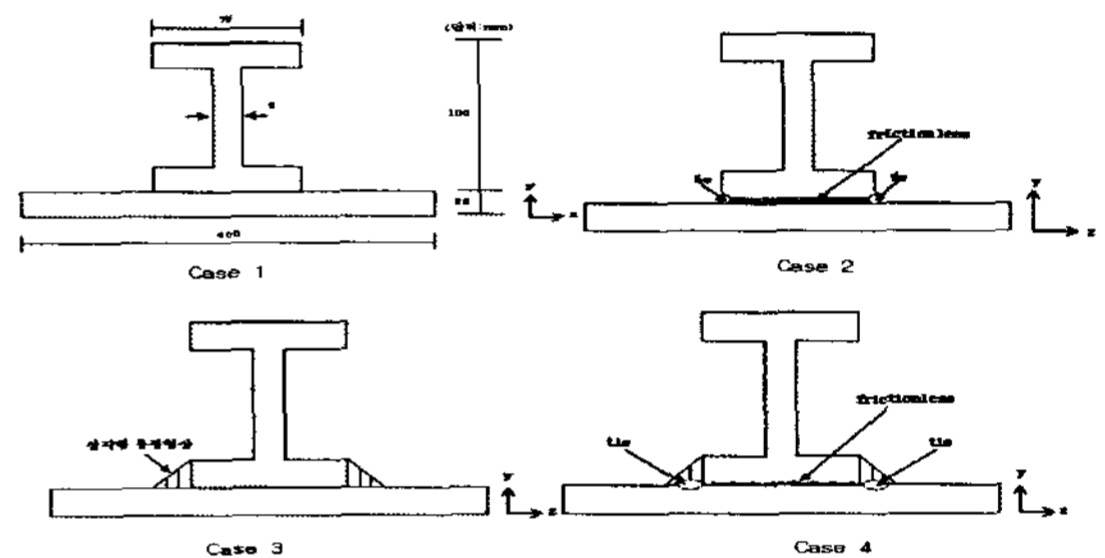


그림 2. I형강과 강판의 합성정도

해석결과, 표 3에서 Shell요소가 기준일때 4가지 솔리드(Solid)요소는 지간중앙부에서 0.5%정도 처짐의 차이를 보였다. 그러나 Shell요소 해석모델의 결과와 수계산 및 보요소 해석결과는 지간중앙부에서 차이를 보였는데, 이는 수계산과 B33 보요소 모델의 경우 Euler Beam이론에 의한 계산결과로 전단변형을 고려하지 못하고, 하중고의 효과(하중의 작용점과 경계조건이 중립축에서 떨어진 효과)와 강판의 유효폭에 대한 고려를 하지 못하기 때문인 것으로 판단된다. 그래서 보다 정량적으로 하중고 효과와 유효폭을 분석하기 위해서 강판의 폭을 100mm에서 400mm까지 100mm씩 증가시켜 해석을 수행하였다.

결과적으로 강판폭의 변화에 따른 전단변형 효과를 분석한다면 강판폭이 100mm인 경우 지간 중앙부에서의 처짐 증가율이 2.6%인데 반하여 강판폭이 400mm인 경우에 처짐 증가율이 1.8%정도 나타났다. 따라서 강판폭이 증가함에 따라 전단변형의 효과가 약간 감소하는 경향을 보이고 있다. 또한 강판폭이 100mm인 경우 처짐의 증가율 9.9%중 전단변형의 효과가 2.6%정도로 파악되며 약 7.3%정도가 하중고 효과와 유효폭 효과인 것으로 사료된다.

표 3. 각 해석에 대한 처짐량 (단위 : mm)

Modeling \ 위치	중양부	차이 (%)	단부	차이 (%)
case1	0.07828	0.2(↓)	0.04712	2.4(↑)
case2	0.07842	0.01(↓)	0.04670	1.5(↑)
case3	0.07805	0.5(↓)	0.04702	2.2(↑)
case4	0.07885	0.5(↑)	0.04676	1.6(↑)
shell	0.07843	-	0.04602	-
B31	0.06929	11.7(↓)	0.04839	5.1(↑)
B33	0.06813	13.1(↓)	0.04865	5.7(↑)
수계산	0.06805	13.2(↓)	0.04552	1.1(↓)

2.3 하중작용 형태의 영향

I형강과 강판의 합성정도를 Case4로 채택하여, I형강, 강판, 콘크리트의 자중을 I형강 상부플랜지에 작용시킨 이상화 하중과 I형강, 강판은 요소의 자중으로 고려, 콘크리트 자중은 강판의 전폭에 대하여 분포시킨 실제화 하중으로 구분하여 모델링하였다. 이때, I형강과 강판은 I형강의 전 길이에 대해 용접이 된 것으로 가정하였다.

그 결과 이상화 하중인 경우 강판의 처짐이 지간 중앙부 단면의 용접된 위치에서 멀어질수록 0.6%정도 작게 발생한 반면에 실제화 하중의 경우 용접된 위치에서 멀어질수록 처짐이 31%정도 크게 발생하였다. 이는 실제화 하중의 경우 강판 전폭에 압력하중이 작용하여 I형강이 용접된 위치에서 멀어질수록 강판의 변위가 크게 산정되는 것으로 판단된다.

그리고 응력 비교결과, 이상화 하중의 경우 강판의 전폭에 대해 거의 균일한 응력분포를 보였다. 특히 대칭축 위치인 부분에서의 응력보다 I형강과 강판이 용접되는 부분에서 응력이 집중되는 것으로 나타났다.

2.4 용접길이 변화의 영향

I형강 전길이에 대한 용접을 실시한 경우와 용접 길이를 전길이에 60%, 50%, 40%, 30%를 10%씩 감소시켜 부분용접을 실시한 경우에 대해 해석을 실시하였다.

그 결과 표4처럼 용접길이가 줄임에 따라 처짐량의 증가가 크지는 않았고, 지간 중앙부에서의 응력은 용접길이가 변하더라도 거의 동일한 응력을 보이고 있지만, 표 5처럼 전체지간에 대한 최대응력은 용접량을 감소시킴에 따라 크게 증가하고 있다.

그리고 그림 3처럼 용접이 시작되는 위치에서 국부적으로 응력이 집중되는 현상이 발생하고 있는 것으로 나타났다.

표 4. 용접길이 변화에 따른 처짐량

Modeling	용접-비용접 (mm)	처짐(mm)			
		중양부	차이 (%)	단부	차이 (%)
W-All	전체 용접	0.07885	-	0.04676	-
W-60	120-80(60%)	0.07948	0.8(↑)	0.04667	0.2(↓)
W-50	100-100(50%)	0.07981	1.2(↑)	0.04657	0.4(↓)
W-40	80-120(40%)	0.08027	1.8(↑)	0.04647	0.6(↓)
W-30	50-150(30%)	0.08137	3.2(↑)	0.04630	1.0(↓)

표 5. 용접길이 변화에 따른 단면내 최대 응력

Modeling	최대응력 (MPa)					
	휨인장 응력	차이 (%)	휨압축 응력	차이 (%)	Von-Mises	차이 (%)
W-All	1.605	-	5.519	-	5.856	-
W-60	2.116	31.8(↑)	5.522	0.1(↑)	5.859	0.1(↑)
W-50	2.409	50.1(↑)	5.485	0.6(↓)	5.823	0.6(↓)
W-40	2.833	76.5(↑)	5.531	0.2(↑)	5.869	0.2(↓)
W-30	3.645	127.1(↑)	5.551	0.6(↑)	6.347	8.4(↓)

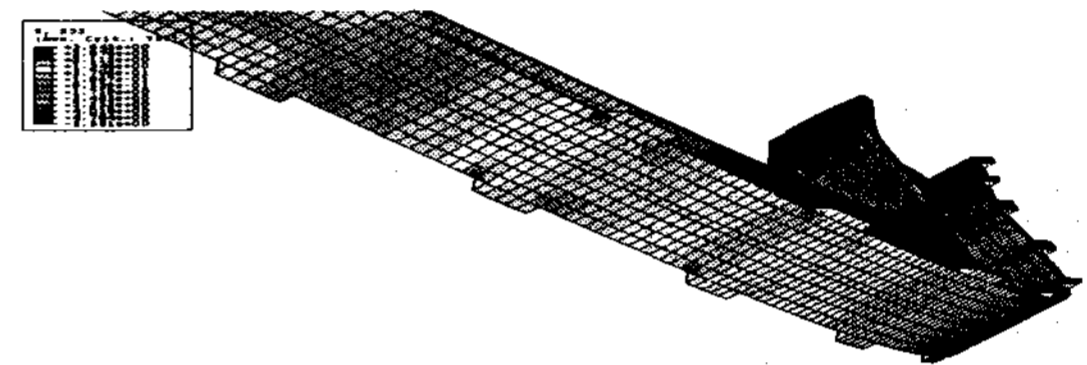


그림 3. W-30모델에서 최대 휨 응력의 발생위치

2.5 I형강 복부에 유공 유무의 영향

I형강 복부에 길이가 100mm, 높이가 50mm인 유공의 길이방향으로 200mm간격으로 모델링하였다. 이때, 용접량은 50%인 경우에 대해서 모델링을 실시하였고, 이상화 하중으로 가정했다.

그 결과 유공 유무에 대한지간 중앙부 단면에서의 응력을 살펴보면 중앙부 단면에서의 응력은 약 3.3~3.6%정도 I형강 복부에 유공이 있는 경우가 유공이 없는 경우보다 증가하였다. 또한 처짐량을 비교한 결과 응력과 달리 지간 중앙부에서의 처짐이 유공이 있는 경우 22%정도 증가하였다.

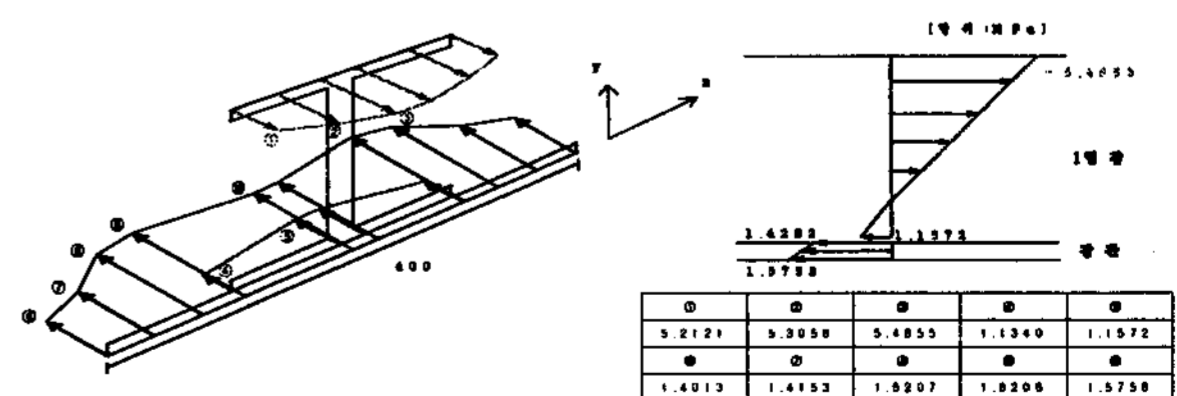


그림 4. I형강 복부에 유공이 없는 경우 중앙부 단면에서의 응력분포

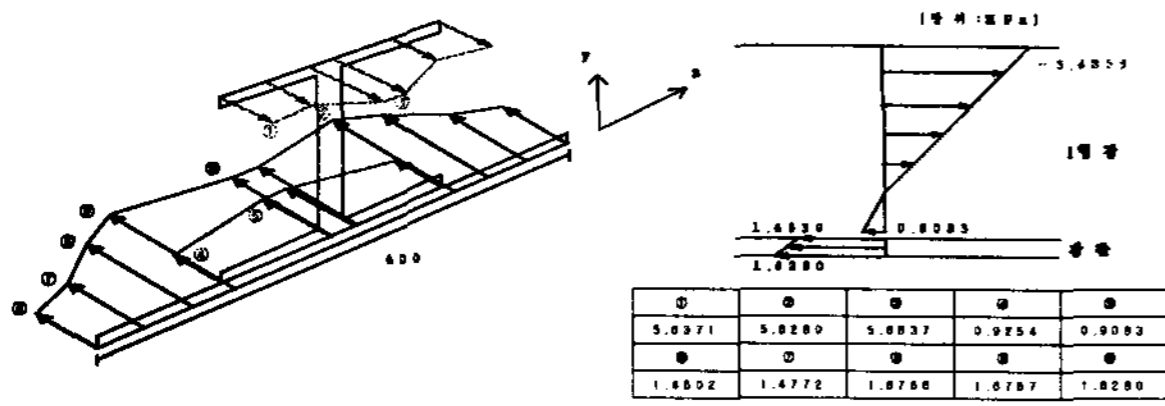


그림 5. I형강 복부에 유공이 있는 경우 중앙부 단면에서의 응력분포

표 6. I형강 복부에 유공 유무에 따른 처짐량

Modeling	처짐(mm)			
	중앙부	차이 (%)	단부	차이 (%)
구멍이 없는 경우	0.07981	-	0.04657	-
구멍이 있는 경우	0.10230	22.0(↓)	0.04759	2.1(↓)

2.6. I형강 복부에 유공 위치 영향

I형강과 강판이 단속용접이 되므로 유공의 위치를 용접된 위치에 있는 경우와 용접사이에 있는 경우로 나누어 해석을 실시한 결과, 앞선 그림 5와 그림 6을 비교하면 압축응력과 인장응력은 유공의 위치가 용접위치인 경우에 비해 용접과 용접사이에 위치한 경우가 약간 증가하였다. 또한 처짐량의 경우 용접사이에 유공이 위치한 경우가 2.5%정도 증가하였다.

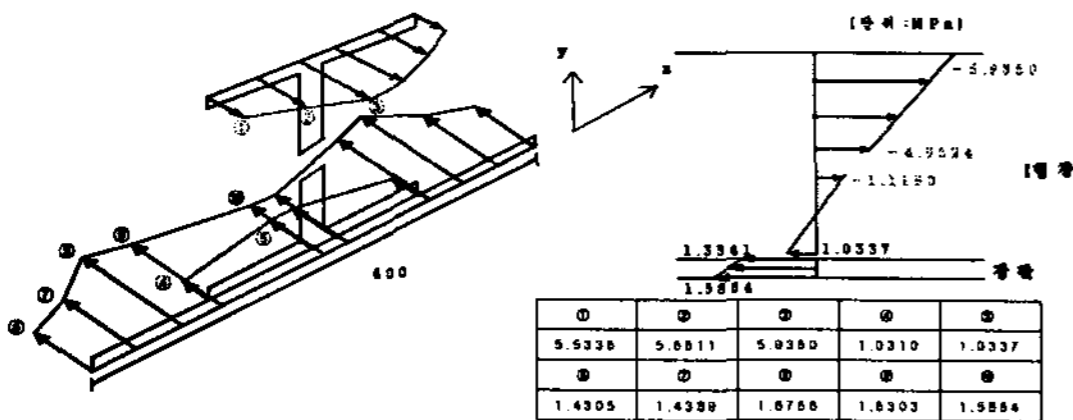
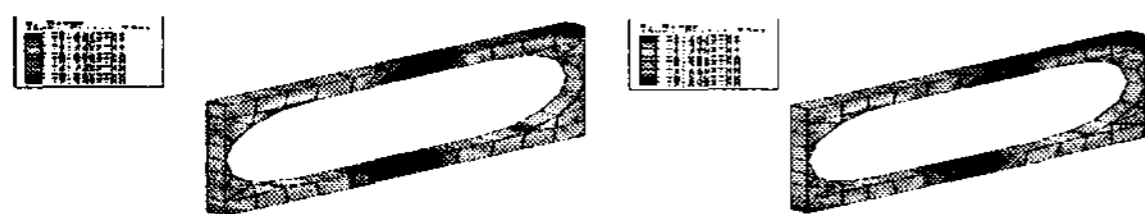


그림 6. 용접사이에 유공이 위치한 경우에 지간 중앙부 단면에서의 응력분포

그리고 I형강 복부에 유공을 설치하는 경우 작용 하중에 대하여 발생하는 지간 중앙부 단면에서의 응력보다 유공주변에서 응력이 집중되어 그림 7처럼 유공주변에서의 응력이 2배이상 크게 발생하는 것으로 나타났다.



(a)용접위치 유공 (b) 용접사이 유공

그림 7. 최대응력이 발생하는 유공주변부에서의 Von-Mises 응력

3. 결론

(1) 초간편 강합성 바닥판은 I형강 매입형 강합성 바닥판을 기반으로 개발했지만 공장제작 및 시공의 간편성등 효율적인 바닥판 형식을 제시하였다.

(2) 거더패널 단순모델링화 하여 빔요소는 B21, B31, B33로 모델링으로 수계산과 비교하였으며, 셸요소는 S4로 모델링하여 솔리드요소와 비교하였다. 솔리드요소는 거더패널의 가설시 하중을 고려하여 I형강과 강판의 합성정도에 따른 4가지 종류로 분류하여 모델링하였다. 그 결과 셸요소와 솔리드요소의 지간중앙부 처짐은 거의 차이가 없었지만 수계산과 빔요소와는 11~13%정도의 차이를 보였다.

이는 전단변형과 하중고의 효과, 그리고 유효폭에 대한 고려를 하지 못하기 때문인 것으로 사료된다.

(3) 거더패널의 I형강과 강판의 용접길이를 변화하였을때 용접길이의 줄임에 따른 처짐량 증가는 보이지 않았지만 용접이 시작되는 위치에서 국부적으로 응력이 집중되는 현상을 확인하였다. 이는 실제 실험에 앞서 모델링을 통해 용접이 이루어지는 위치에서 응력이 집중되는 부분을 알아냄으로써 파괴를 방지할 수 있을 것으로 판단된다.

(4) 거더패널의 I형강 복부에 유공이 있을시 복부 단면에 강성의 변화가 있기 때문에 유공이 없는 경우보다 처짐이 약 22% 증가하는 것을 알수 있었다.

하지만, 가설 후 콘크리트와 유공의 다웰작용으로 인해 강재와의 합성정도를 향상시킬 것으로 사료된다. 하지만 응력의 차이가 거의 없기 때문에 유공 위치에 따른 영향은 받지 않는 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 건설교통부가 출연하고 한국건설교통기술평가원에서 위탁시행 한 2006년도 건설핵심기술연구개발사업(06건설핵심C17)에 의한 것임.

참고문헌

[1] 한국건설기술연구원, “장수명 합리화 교량바닥판 개발(1)”, 2002, 2003
 [2] 한국건설기술연구원, “장수명 합리화 교량바닥판 개발-강·콘크리트 합성 바닥판”, 2004, 2005
 [3] 장승필, 심창수, “합성구조론”, 구미서관, 2005.
 [3] 정철현, 이홍수, 박종면, 김영호(2004), “합성작용을 위한 새로운 Perfobond 전단연결재”, 대한토목학회논문집, 제24권 제3A호, 525-532.