

# 합리화 2주형교용 바닥판의 개발을 위한 실험 연구

## Development of Deck System for Two-Girder Bridges

주봉철\*\*\* 김병석\* 김영진\*\* 박성용\*\*\* 이정우\*\*\* 신호상\*\*\*\*  
Joo, Bong Chul Kim, Byung Suk Kim, Yung Jin Park, Sung Yong Lee, Jung Woo Shin, Ho Sang

### ABSTRACT

The two-girder composite bridge has the girder space of more than 5m, for special case, over than 15m. Therefore, the design and construction of this bridge system require new approaches. To ensure the structural safety, the deck depth should be increased. Therefore, the economically designed deck system is necessary for the two-girder bridge. This study is the first step to develop the deck system for two-girder bridges.

In this study, a literature survey is performed to develop a new deck system for two-girder type of bridges. By considering the characteristics of two-girder bridge system, a cast-in-place PSC deck is proposed for the two-girder bridges. To examine structural behavior and safety of the proposed PSC deck, three real scale partition deck(3m×5m) are tested under the static loading. In the test, the failure mode and behavior of each specimen, and ultimate load carrying capacity of the two-girder-bridge deck are identified.

### 1. 서론

합리화 2주형교는 기존의 강합성 판형교가 다주형교인데 비해 주형의 개수를 2개로 줄이고 주형의 보강재도 대폭 감소시킴으로써 부재를 단순화하여 용접 등에 따른 노무비를 감소시켜 경제성을 확보할 수 있도록 한 교량 형식이다. 프랑스 등 유럽에서는 주형이 2개 내지 3개인 소수주형교의 건설이 이미 보편화되어 있으며, 일본에서도 최근 이에 대한 연구를 활발히 진행하여 현장에 적용하는 단계에 이르렀다. 합리화 2주형교가 기존 판형교와 다른 가장 큰 특징은 주형의 개수가 줄어들어 따라 주형의 간격이 넓어졌다는 점이다. 바닥판의 경우 기존의 판형교에서는 3.5m 내외의 비교적 짧은 지간을 가지고 있으므로 설계시 별 어려움이 없었으나, 합리화 2주형교의 바닥판은 지간 길이가 보통 6m 이상이므로 기존 설계방식대로 한다면 바닥판의 두께가 두꺼워져야 한다. 하지만, 바닥판의 두께가 증가하면 경제성을 향상시키려는 합리화 2주형교의 사용 목적에 부합하지 않으므로 안전성과 내구성을 갖는 적절한 형식을 제시할 필요성이 있다.

본 연구에서는 합리화 2주형교의 실용화를 위한 바닥판의 개발을 위해 수행된 것이다. 즉, 합리화 2주형교의 개발 취지에 부합할 수 있도록 안전성과 내구성을 기본으로 하고 시공 편의성 및 경제성을 확보할 수 있는 바닥판의 형식을 제안하고 실험을 통해 그 성능을 입증하는 것이 그 목적이다.

\* 정회원, 한국건설기술연구원 구조시스템그룹장  
\*\* 정회원, 한국건설기술연구원 구조시스템 선임연구원  
\*\*\* 정회원, 한국건설기술연구원 구조시스템 연구원  
\*\*\*\* 정회원, (주)인프라이엔지 기술담당이사

## 2. 실험체의 설계 및 실험방법

본 연구에 적용한 교량은 지간 40m, 교폭 12m인 2차선 교량이며 그림2와 같은 단면을 갖고있다. 주형의 간격은 6m이고, 바닥판의 두께는 도로교설계기준의 바닥판 최소두께에 따라 계산된 값으로 단순판인 경우에는 34cm, 연속판인 경우에는 28cm이다. 본 연구에 적용한 교량과 같이 캔틸레버의 길이가 긴 교량에서는 단순판과 연속판의 거동 특성이 동시에 나타날 수 있으므로 단순판과 연속판의 경우를 모두 고려하였다.

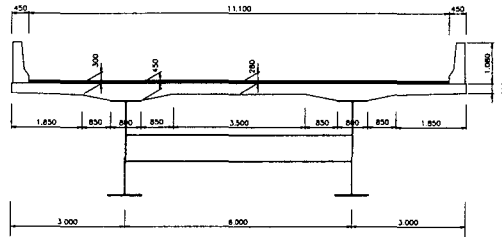


그림 1 실험 대상 교량의 횡단면도 (t=28cm)

본 연구에서는 실험장비와 조건의 제약으로 부분모델을 제작하여 실험을 실시하였다. 실험체는 주형 사이에 있는 바닥판의 최소 단면부분(5m)을 취하였으며, 교축방향으로는 바닥판의 거동을 나타낼 수 있는 최소한의 길이(3m)만을 취하였다. 실험체는 실제 구조물의 일부분이므로 원래 구조물과 유사한 거동을 할 수 있도록, 교축직각방향 절단부에 탄성패드를 설치하였다. 실제 구조물을 3차원 해석하여 지간 중앙 단면에서의 절단면에 해당하는 부분의 회전변위를 일치시킬수 있는 스프링계수를 구하여 이에 적합한 탄성패드를 설치하였다.

또한, 교축방향으로의 연속성을 고려하기 위하여 자유변에 강성을 보강하였다. 이를 위하여 구조물 전체를 대상으로 한 모델과 시험체의 자유변에 강재를 설치한 모델을 구성하고, 강재의 강성을 변수로 하여 두 해석 모델의 자유변에서의 교축 및 교축직각방향 모멘트가 같아질 때까지 반복해서 해석을 수행하여 H형강을 결정하였다.

이상과 같은 시험체의 설계 과정을 거쳐서 바닥판의 두께 및 자유변의 보강 유무를 변수로 하여 표 1과 같은 3개의 시험체를 제작하였으며, 각 시험체에는 교축직각방향으로 50cm 간격으로 단면 도심에 직선 텐던을 배치하였다.

표 1 시험체의 종류 및 특성

시험체 명칭	시험체 두께 (cm)	철근 간격		콘크리트 압축강도 (kgf/cm <sup>2</sup> )	강성보강 유무
		주철근 (mm)	배력철근 (mm)		
PC34-RS	34	125	150	350	강성보강
PC34-NS					무보강
PC28-RS	28				강성보강

## 3. 시험 결과 분석

그림 2에서와 같이 시험체 중앙에 하중을 재하하여 인장철근 항복직전까지는 하중제어 방식으로 인장철근이 항복이후에는 변위 제어 방식으로 파괴에 도달하는 정적 재하시험을 실시하였으며, 하중 재하면적은 도로교설계기준의 차륜접지면적에 관한 규정에 따라 DB24의 후륜하중을 기준으로 교축방향 23.1cm, 교축직각방향 57.7cm로 하였다.

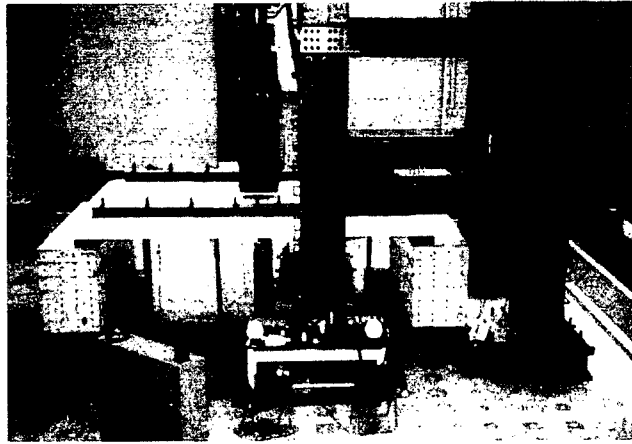


그림 2 정적 재하시험 전경

### 3.1 초기균열

초기균열을 알아보기 위해 하중 단계별로 육안조사와 미리 설치한 콘크리트 게이지를 통해 얻어진 변형률 그래프를 통해 초기 균열이 발생하는 시점을 조사, 결정하였다. 또한, 해석적인 방법을 통해 구한 균열하중과 실험을 통해 얻어진 균열하중의 크기를 표 2에서 비교하였다. 그림 3은 바닥판 하면에 설치한 콘크리트의 변형률 곡선을 나타낸 것이고, 그림 4는 콘크리트의 초기균열 모습이다.

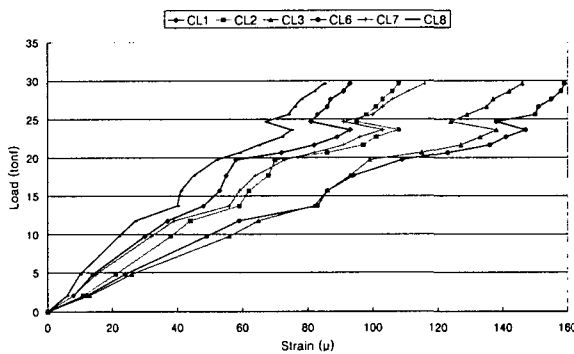


그림 3 콘크리트의 초기 하중-변형률 곡선(PC34-RS)

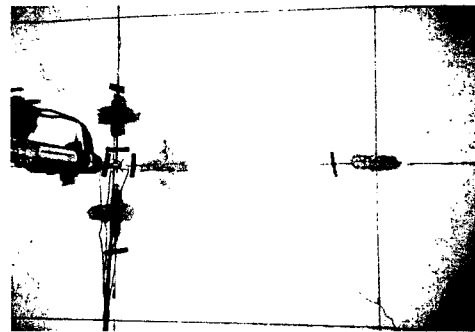


그림 4 콘크리트의 초기균열 모습 (PC28-RS)

표 2 해석적인 방법에 의한 균열하중과 실험에 의한 균열하중의 비교 (단위:tonf)

시험체 명칭	해석적인 방법		실험 결과	
	교축직각방향	교축방향	육안조사	변형률 그래프
PC34-RS	28.2	20.2	24	24
PC34-NS	29.6	36.0	27	25
PC28-RS	30.0	20.4	20	20

표에서 알 수 있듯이, 두께가 28cm, 34cm이고 강성 보강된 시험체인 PC34-RS와 PC28-RS의 경우에는 각각 24톤과 20톤의 하중을 가했을 때 그림4에서 보는 바와 같이 중앙부에서 대각선 방향으로 초기균열이 발생하였다.

이론대로 초기균열이 긴장력 도입방향과 평행한 방향으로 발생하지 않고, 교축방향에 다소 치우친 방향으로 균열이 발생한 것은 강성보강 효과의 부족과 지점 조건의 변화가 원인으로 파악되었다. 즉, 강성 보강을 위해 H형강을 시험체에 볼트로 체결하였으나, 초기 하중상태에서 강재와 시험체가 완전하게 밀착되지 않아 일체로 거동하지 못해 강성보강효과가 반감되었으며, 시험체의 지지점은 실제 구조물에서는 회전 및 수직변위가 거의 고정에 가깝지만, 시험체의 경우에는 시험 도중에 지지점의 모서리에서 들림 현상이 발생하였다. 이와 같은 이유로 교축직각방향 모멘트가 식재보다 작게 발생하여 균열이 교축방향으로 치우치게 되어 거의 파단되다 그런에도 불구하고 교축방향의 균열하중과 실험결과를 비교했을 때 PC34-RS의 값은 17%정도의 오차를 보이고 있으며, PC28-RS의 경우에는 거의 일치하는 결과를 주고 있다.

### 3.2 처짐 특성

최대 처짐이 발생하는 가력점 하단에 처짐계(LVDT)를 설치하고, 하중-변위간 관계를 측정하여 그림 5에 나타내었다. 그림에서 알 수 있듯이 자유변의 강성 보강을 한 PC34-RS 시험체가 강성 보강이 되지 않은 PC34-NS 시험체에 비해 최대 하중은 크고, 변위는 작게 나타났다. 콘크리트에 균열이 발생하기 전인 초기 하중단계에서는 모든 시험체의 기울기가 0.1mm/tonf 정도로 선형탄성거동을 하고 있으며, 균열이 발생한 후에는 단면의 기울기가 변화하고 있다. 이 시점에서 기울기는 PC28-RS에서는 0.358, PC34-NS는 0.422, 그리고 PC34-RS는 0.494mm/tonf의 순이다. 이는 바닥판의 두께와 강성보강의 효과로 인해 전체적인 강성이 PC28-RS < PC34-NS < PC34-RS의 순서로 크다는 것을 의미한다.

또한, 강성보강을 한 시험체의 경우, 인장철근의 항복이후 최대하중에 도달하는 구간이 강성보강을 하지 않은 경우에 비해 짧은 것을 볼 수 있다. 이는 각 시험체의 파괴양상과 관계가 있는 것으로, 강성보강을 한 시험체의 경우에는 전체적으로 판거동의 양상을 보여 최대하중에서 급격히 파괴되는 편칭전단파괴를 보였으며, 강성보강을 하지 않은 시험체에서는 보거동 양상을 나타내어 최대하중까지 가는 구간이 상대적으로 긴 휨파괴 양상을 나타냈다. 이는 최대하중 단계에서 강성 보강을 위해 설치된 강재의 역할이 상당히 크게 작용했음을 의미하며, 실제 교량의 연속성을 구현하기 위한 강성보강재의 적용이 타당함을 알 수 있다.

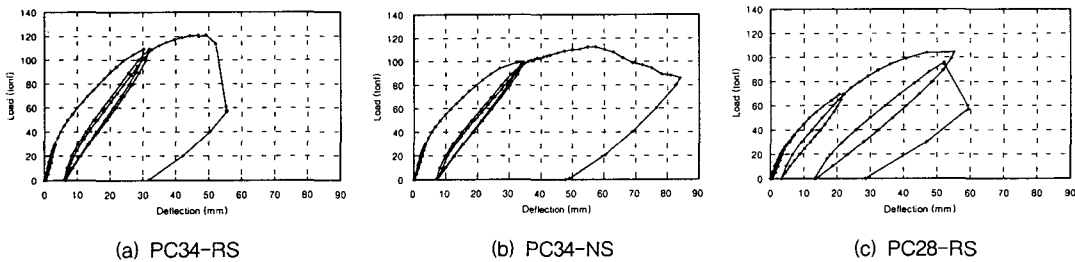


그림 5 하중-처짐 관계 그래프(바닥판 중앙부)

### 3.3 파괴 양상

각 시험체가 최대하중에 도달하였을 때 나타나는 파괴양상은 시험체의 강성보강 유무에 따라 확연히 다르게 나타났다. 최종파괴후 균열양상을 나타낸 그림 6에서 알 수 있듯이, 강성보강을 한 시험체는 모두 편칭전단파괴 양상을 나타냈으며, 강성보강을 하지 않은 시험체는 교축직각방향 중앙부의 상단이 압축 파괴되는 휨압축파괴 양상을 나타냈다. 또한 강성보강을 한 시험체의 경우, 하중초기단계에서는 교축방향의 휨균열이 중앙에서 발생하여 교축직각방향인 양쪽 지점방향으로 사선을 이루며 진전되다가 하중이 증가함에 따라 휨균열을 수직으로 연결하는 교축직

각방향의 균열이 발생하여, 결과적으로 거북등 모양의 균열 양상을 보이게 된다. 그러나, 강성보강을 하지 않은 경우는 전체적인 휨균열 양상이다.

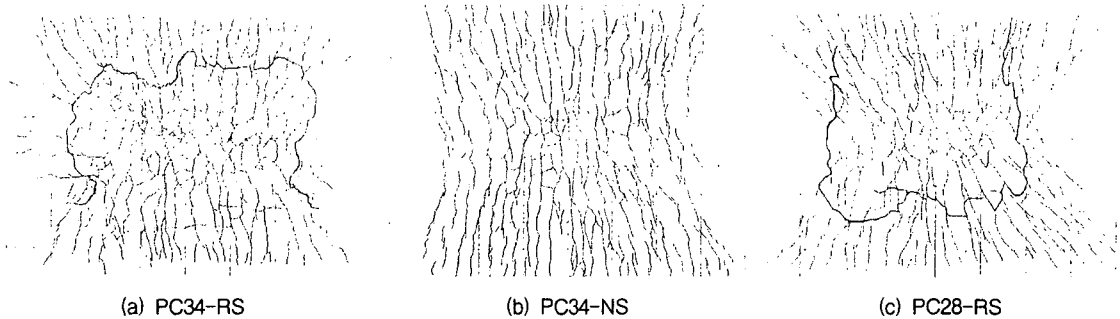


그림 6 최종 파괴시 균열형상

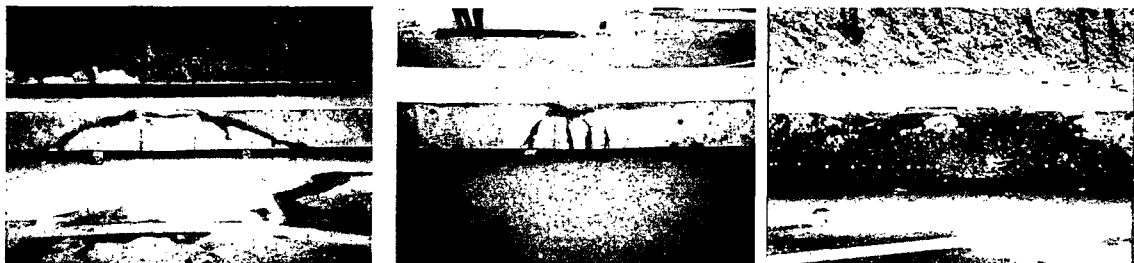


그림 7 단면 내부의 균열 모습

그림 7에서는 실험 후에 시험체 내부의 균열 상태를 알아보기 위하여 시험체를 절단하여 나타낸 것이다. 그림 7(a)의 PC34-RS 시험체는 초기 휨균열이 재하판 양단 하부에서 수직으로 상승하고 있으며, 재하판 양단 상부에서 좌우 25.9°의 방향으로 전단균열이 발생하였음을 볼 수 있다. 그림 7(b)의 PC34-NS는 단면 하부에서 수직으로 상승한 휨균열과 단면 상연에서 콘크리트가 압축 파괴된 전형적인 휨압축파괴 양상을 나타내고 있다. 대부분의 휨균열이 재하판 하단 중앙부에 집중되고 있음을 볼 수 있으며, 이는 폭이 넓은 보의 휨거동과 유사한 거동을 하고 있음을 말해준다. 그림 7(c)의 PC28-RS는 다른 시험체와는 달리 교축방향으로 절단한 단면으로 재하판 양끝 단에서 시험체 위쪽으로부터 좌우 45° 방향으로 텐던 밑으로 연결되는 전단균열을 보여주고 있다. 이는 교축직각방향의 텐던배치형태가 전단균열의 방향에 영향을 미칠 수 있음을 의미한다.

### 3.4 파괴강도

표 3에서는 실험을 통해 얻어진 최대하중과 이론에 의한 파괴강도를 비교한 것이다. 강성이 보강된 시험체의 경우에는 실험에 의한 값이 휨강도 환산하중에 비해 8.1%, 21.2% 정도 크게 나타났으며, 강성보강이 되지 않은 시험체는 거의 일치한 값을 보이고 있다. 이는 도로교설계기준에서 제시하고 있는 휨강도 계산식이 휨파괴 양상을 보이는 부재에 대해서는 최대하중을 정확하게 예측할 수 있게 하고 있음을 말해 준다. 한편, 편칭전단파괴 양상을 보이는 강성 보강한 시험체의 경우 편칭전단강도의 67%와 69% 수준에서 파괴가 일어났는데, 이는 편칭전단강도를 구하는 식이 짧은 경간을 갖는 일반적인 바닥판의 실험을 통해 제안된 것이기 때문으로 판단된다. 바닥판의 경간이 긴 경우에는 초기에 많은 휨균열이 발생하게 되는데, 계산식에서는 이를 제대로 반영하지 않아 편칭전단강도가 과대

평가된 것으로 보인다. 초기 휨균열이 많아지면, 유효단면이 감소하게 되어 편칭전단강도가 현저하게 감소하게 된다.

표 3 실험 최대하중과 이론적인 예측 값과의 비교 (단위:tonf)

	PC34-RS	PC34-NS	PC28-RS
실험 최대하중	121	112	104
휨강도 환산하중	111.93	111.93	85.79
편칭전단강도	174.55	174.55	154.22
파괴 모드	편칭전단파괴	휨압축파괴	편칭전단파괴

#### 4. 결론

본 연구에서는 합리화 2주형교용 바닥판의 극한내력을 파악하기 위해 5m×3m의 바닥판 시험체를 제작하여 정적재하실험을 실시하여 파괴양상과 거동특성을 분석하므로써 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 바닥판의 거동을 제대로 파악하기 위해서는 부분모델의 절단면에 적절한 강성보강이 필요하다. 2주형교 바닥판의 경우에는 판거동의 특성이 강하게 나타나므로 교축방향 절단면의 연속 효과를 충분히 고려해야 판거동 양상을 볼 수 있다.

(2) 콘크리트의 초기균열은 최대하중의 20~22% 정도에서 발생하였으며, 예상과는 달리 교축방향에 치우치게 경사진 방향으로 발생하였다. 이는 강성보강의 불충분과 지점조건이 실제와는 다른 점이 원인이라 할 수 있다.

(3) 실제 구조물과 가깝도록 강성을 보강한 시험체의 경우 초기에는 교축방향에 치우친 휨균열이 발생하고, 하중이 증가함에 따라 이 균열을 직각으로 잇는 교축직각방향 균열이 다수 발생하였으며, 최종적으로는 이들 균열이 거북등 모양으로 서로 연결되면서 편칭전단파괴가 발생하였다. 한편, 이때의 파괴하중은 이론적인 식으로 구한 휨강도 보다는 다소 크지만, 편칭전단강도 산정식으로 구한 값의 2/3 정도에 불과한 것으로 나타났다. 이는 이론식이 기존의 경간이 짧은 다주형교의 실험 결과를 이용하여 만들어진 것이기 때문이며, 경간이 긴 경우에는 초기에 발생한 휨균열의 영향으로 인하여 유효단면이 감소하게 되어 편칭전단강도가 현저히 줄어들기 때문이다. 따라서, 2주형교 바닥판의 파괴하중을 산정할 때 기존의 방식으로 추정할 경우 편칭전단강도를 지나치게 과대평가하게 되기 때문에 주의가 필요함을 알 수 있다.

#### 감사의 글

본 연구는 포항산업과학연구원 강구조연구소의 연구비 지원으로 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

#### 참고문헌

1. 한국건설기술연구원, 합리화 2주형교용 바닥판 개발에 관한 연구, 포항산업과학연구원, 2000. 10
2. 한국도로교통협회, 도로교설계기준, 건설교통부, 2000
3. 要田章光, 江頭慶三, 長井義則, 恩知俊一, “ヨーロッパ標準 4 : 鋼・コンクリート合成構造物の設計”, 橋梁と基礎, 2000
4. 木村宏, 内田修平, 塩田圭三, 田中一夫, 小西哲司, 太田哲, “PC床版2主桁橋「ホロナイ川橋」の設計, 工場製作, 現場施工”, 川田技報, Vol. 16, pp. 38~45, 1997.