

# 바닥판 앵커를 사용한 플레이트거더교의 부분합성에 관한 해석 및 실험 연구

## Analytical and Experimental Studies on Partially Composite of Steel-Plate Girder Bridges Using Slab Anchors

한 상 윤<sup>1)</sup> · 박 남 회<sup>2)</sup> · 윤 기 용<sup>3)</sup> · 강 영 종<sup>4)</sup>  
*Han, Sang Yun · Park, Nam Hoi · Yoon Ki Young · Kang, Young Jong*

요 약 : 강합성거더 교량의 단면은 강거더와 콘크리트 슬래브의 합성정도에 따라 각각 비합성, 부분합성 그리고 완전합성 단면들로 구분할 수 있다. 국내의 경우 강합성거더 교량의 단면을 합성시키기 위하여 일반적으로 전단 연결재 중 스티드를 사용하도록 규정하고 있고, 전단 연결재가 없는 경우 즉 비합성 단면의 경우에는 바닥판 앵커를 설치하도록 경험적으로 규정하고 있다. 그러나 바닥판 앵커를 사용한 단면의 실제 거동은 비합성 거동이 아닌 부분합성의 거동을 나타낸다. 그러한 이유로 본 연구에서는 바닥판 앵커를 사용한 플레이트거더교의 부분합성에 관한 해석 및 실험연구를 수행하였다. 실험연구를 통해서 바닥판 앵커의 초기강성을 산정하였고, 해석연구를 통해서 바닥판 앵커를 사용한 단순 및 2경간 연속 플레이트거더교의 합성정도를 비교·분석하였다. 또한, 실험에 의해 산정된 강성 값에 근거하여, 2경간 연속 플레이트거더교에 바닥판 앵커를 적용하였을 때 발생할 수 있는 내부지점부 콘크리트의 인장응력 저감 효과를 검토하였다.

ABSTRACT : Cross sections of steel-plate girder bridges are divided into three cross sections of non-composite, partially composite, and fully composite sections, according to their composite characteristics. The Korean provision for the partially and fully composite sections specifies general usage of the stud of shear connectors, whereas the one for the non-composite section specifies empirical usage of slab anchors. However, the actual behavior of the cross sections of steel-plate girder bridges using slab anchors is close not to the non-composite action, but to the partially composite action. Therefore, analytical and experimental studies on partial composites of steel-plate girder bridges using slab anchors are performed in this study. Initial stiffness of the slab anchor is obtained by the experimental study for the first time, and the composite characteristic of simple-span and two-span continuous steel-plate girder bridges is investigated by the finite element analyses for the second time. Based on the obtained initial stiffness, the reduction effect of tensile stresses in the concrete-slab on the intermediate support of the continuous bridge is also considered herein.

핵심용어 : 바닥판 앵커, 비합성, 부분합성, 완전합성, 전단 연결재

KEYWORDS : Slab anchor, Non-composite, Partially composite, Fully composite, Shear connector

### 1. 서론

강합성거더 교량은 거더 단면이 I형이거나 박스형인 강거더와 콘크리트 슬래브가 결합되어 하나의 합성단면을 구성하는 교량 형태이다. 이러한 강합성거더 교량의 단면형태는 단면의 합성정도에 따라 비합성(non-composite), 부분합성(partially

composite) 그리고 완전합성(fully composite) 단면으로 나눌 수 있다. 국내의 경우에는 합성단면으로 강합성거더 교량을 설계 시 전단 연결재 중 스티드(stud)를 배치하도록 규정하고 있고, 전단 연결재가 없는 경우에는 바닥판 앵커(slab anchor)를 설치하도록 규정하고 있다(도로교 설계기준 2000). 바닥판 앵커의 설치에 차량하중에 의한 바닥판의 충

1) 정회원, 고려대학교 사회환경시스템공학과 박사과정  
(Tel. 02-924-0190, Fax. 02-921-5166, E-mail : hansangyun@hanmail.net)  
2) 정회원, 고려대학교 공학기술연구소 연구조교수 (nhpark@korea.ac.kr)  
3) 정회원, 선문대학교 토목공학과 교수(kyoon@email.sunmoon.ac.kr)  
4) 정회원, 고려대학교 사회환경시스템공학과 교수 (yjkang@korea.ac.kr)

본 논문에 대한 토의를 2004년 12월 31일까지 학회로 보내주시면  
의 회답을 게재하겠습니다.

격완화와 각 설계하중으로 인한 바닥판의 현위치 확보를 위하여 단순히 경험적으로 그 배치를 명시하고 있는 실정이다. 그러나 바닥판 앵커는 실제로 비합성 거동이 아닌 부분합성 거동을 나타내고 있기에, 이에 대한 합리적인 연구의 필요성이 제기된다.

합성거더 교량의 부분합성에 대한 연구는 Newmark 외 2인(1951)에 의해 초기연구가 수행되었다. 이후 강합성거더 교량의 부분합성을 포함한 비합성 및 완전합성에 관한 많은 국내외의 연구들이 수행되어 왔다(Yam과 Chapman 1981; Oehlers와 Coughlan 1986; 장 외 2인 1997; 용 외 2인 1997; Seracino 외 2인 2001; 용 외 3인 2002). 그러나 상기의 많은 연구들은 전단 연결재 중 스테드에 대한 비합성, 부분합성 및 완전합성에 대한 연구들이다. 다시 말하면, 바닥판 앵커를 통한 플레이트거더교의 부분합성에 관한 연구는 아직까지 국내외적으로 연구가 미진한 실정이다. 한편, 국내외의 전단 연결재에 대한 설계 규정은 완전합성에 대해서는 명시하고 있지만, 비합성이나 부분합성에 대해서는 현재까지 명확하게 규정하지 못하고 있다(도로교 설계기준 2000; AASHTO 2002). 더군다나, 명시된 규정 역시 전단 연결재 중 스테드에 대한 것들이 주를 이루고 있다.

본 연구는 스테드가 아닌 바닥판 앵커를 사용한 플레이트거더교의 부분합성거동을 해석 및 실험을 통해 분석하는 연구로서, 연구의 목표는 다음과 같이 크게 두 가지로 나눌 수 있다. 첫 번째는 실험을 통해서 바닥판 앵커를 사용한 플레이트거더교의 교축방향 초기강성을 산정하는 것이고, 두 번째는 유한요소해석을 통해서 바닥판 앵커를 사용한 단순 및 2경간 연속 플레이트거더교의 합성정도를 비교·분석하는 것이다. 또한, 본 논문에서는 실험에 의해 산정된 바닥판 앵커의 강성 값을 2경간 연속 플레이트거더교에 적용하였을 때 발생할 수 있는 내부지점부 콘크리트의 인장응력 저감 효과를 검토하였다.

## 2. 바닥판 앵커 실험

### 2.1 시험체 형상 및 제반조건

플레이트거더교 바닥판 앵커의 교축방향 초기강성 값을 산정하기 위하여 본 연구에서는 바닥판 앵커가 부착된 시험체(push-out specimen)를 제작하였다. 강재에 부착된 바닥판 앵커의 형상과 제원은 그림 1에 나타나 있고(도로교 표준시방서 1996), 그림 2는 시험체의 기하학적인 이해의 증진을 위하여 3차원 측면도로 그림 3은 2차원적인 측면도와 정면도를 각각 보여주고 있다. 본 연구에서 제작한 시험체 즉 그림 2 또는 3에 나타난 시험체는 BS-5400(1979) 설계규정에서 설

명하고 있는 Push-out 시험체를 근거로 하여 제작한 것이다. 그리고 시험체는 H-형강(플랜지판 30 x 1.5cm과 복부판 30 x 1.0cm)과 양쪽의 콘크리트(50 x 23cm)로 구성되어있으며, 강재와 콘크리트의 접촉면에서의 부착력 방지를 위해서 윤활유를 도포하였다. 본 연구에서는 실험여건 상 동일한 조건의 시험체를 2개(SA-1, SA-2) 제작하였으며, 이 시험체의 콘크리트 압축강도는 388kgf/cm<sup>2</sup>로 측정되었다.

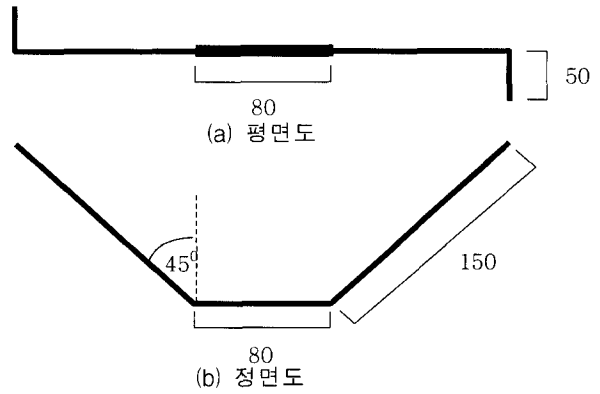


그림 1. 바닥판 앵커 제원 (단위: mm)

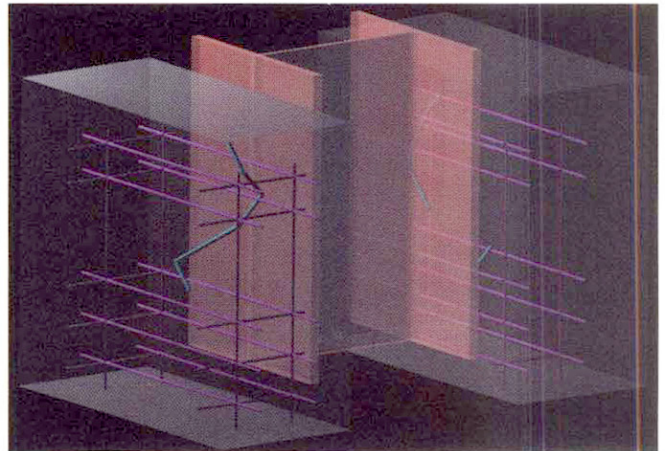


그림 2. Push-out 시험체

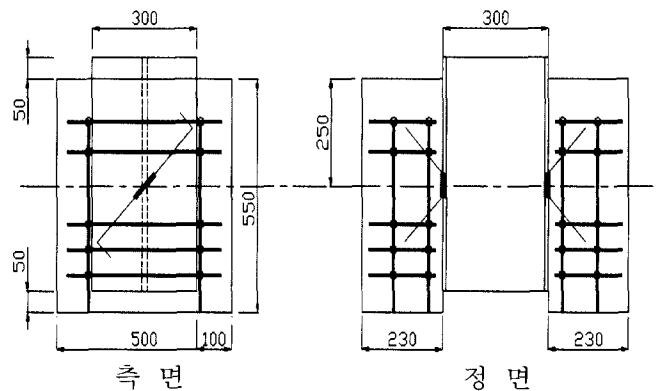


그림 3. 시험체 측면도 및 정면도 (단위: mm)

시험체는 그림 4에 나타난 만능시험기(UTM)를 사용하여 매 1tonf 단위로 파괴가 일어날 때 까지 하중을 재하 하였고, 매 하중단계마다 변위계(정밀도 1/100mm)를 통해서 H-형강과 콘크리트 사이의 상대슬립을 측정하였다. 실제 교량의 바닥판 콘크리트에서 교축직각방향의 포아송 효과(poisson's effect)는 매우 적기 때문에, 이를 모사하기 위해 본 실험에서는 그림 5와 같이 실제 교량의 교축직각방향에 해당하는 콘크리트 양쪽 면을 보강재를 사용한 강판을 이용하여 구속하였다. 또한, 콘크리트의 파괴보다는 바닥판 앵커의 파괴를 유도하기 위하여 그림 3과 5에 나타나 있듯이 콘크리트 내부에 철근을 배근하였다.



그림 4. 하중 재하 장치

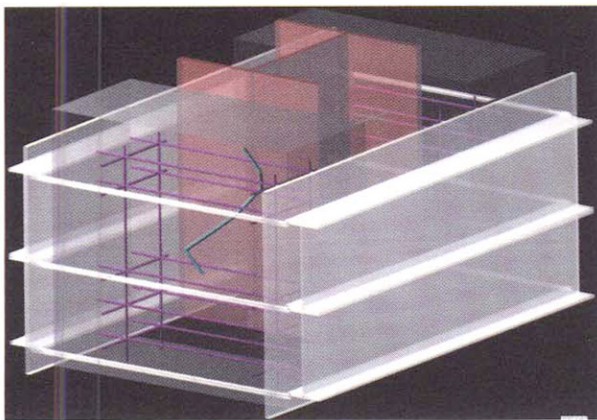


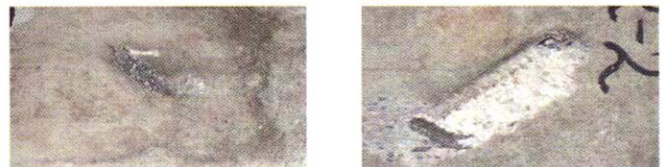
그림 5. 시험체의 콘크리트 구속

## 2.2 초기강성 산정 및 결과 분석

강재와 콘크리트 사이 바닥판 앵커의 초기강성 값은 시험체

에 재하된 하중과 두 부재의 상대슬립간의 관계를 통해서 산정할 수 있다. 즉 하중-슬립 곡선(load-slip curve)의 탄성구간에서의 기울기가 바닥판 앵커의 초기강성 값이 된다. 그림 6은 하중 재하에 따른 시험체의 파괴형상을 보여주고 있는데, 2개의 시험체 모두 콘크리트의 파괴는 일어나지 않았으며, SA-1은 바닥판 앵커와 강재가 연결되어 있는 용접부위가 파단 되었고, SA-2는 콘크리트에 묻혀있는 바닥판 앵커가 절단 되었다. 따라서, 본 연구에서는 바닥판 앵커가 절단되는 SA-2 시험체의 강성 값 즉 그림 7에 나타난 SA-2 시험체의 하중-슬립 곡선의 기울기 값을 바닥판 앵커의 초기강성 값(83,333kgf/cm)으로 선택하였다. 결국, 산정된 강성 값 83,333kgf/cm는 H-형강 양면에 부착된 2개의 바닥판 앵커에 대한 값이므로 한 개의 바닥판 앵커에 대한 값은 41,667kgf/cm( $83,333/2=41,667\text{kgf/cm}$ )로 계산된다.

그림 7을 자세히 관찰하면, SA-1 시험체의 용접부위가 파단 됨으로 인해 최대 하중 값(22.0tonf)이 SA-2의 최대 하중 값(25.5tonf)보다 정량적으로 작음을 알 수 있고, 동일한 하중 조건에서 SA-1의 슬립량이 SA-2의 그것보다 더 크게 나타남을 알 수 있다. 또한, Oehlers와 Coughlan(1986)의 연구결과인 스티드(줄기지름  $d=19\text{mm}$ ) 한개 당 초기강성 값 108,200kgf/cm를 본 연구에서 산정된 바닥판 앵커의 값과 비교하면, 후자는 전자의 약 39%( $41,667/108,200=0.385$ )에 해당되는 강성을 발휘한다.



(a) SA-1 (용접부위 파단) (b) SA-2 (바닥판 앵커 절단)

그림 6. 시험체의 파괴형상

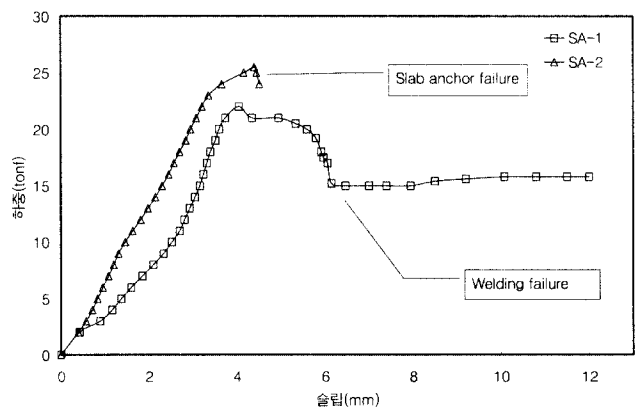


그림 7. 하중-슬립 곡선

### 3. 유한요소해석

본 장에서는 유한요소해석을 통해 바닥판 앵커를 사용한 플레이트거더교의 합성정도를 비교·분석하기 위하여, 단순 및 2경간 연속 플레이트거더교에 대하여 범용프로그램(LUSAS)을 이용하여 해석을 수행하였다. 바닥판과 강거더는 8절점 쉘요소(shell element)를 사용하였고, 전단 연결재는 조인트 요소(joint element)를 사용하였다. 본 연구에서 사용된 조인트 요소는 회전에 대해서는 강재와 바닥판이 동일한 거동을 하게 묘사하는 요소이고, 각 축방향에 대해서는 임의의 강성 값을 입력치로 요구하는 요소이다. 본 유한요소해석에서는 교축방향을 제외한 두 방향의 강성 값을 무한강성으로 고정하였고, 교축방향의 강성 값을 변화시키면서 해석을 수행하였다. 하중은 집중하중 재하 시 발생할 수 있는 국부적인 응력집중을 방지하기 위해 등분포하중을 전 지간에 재하 하였다.

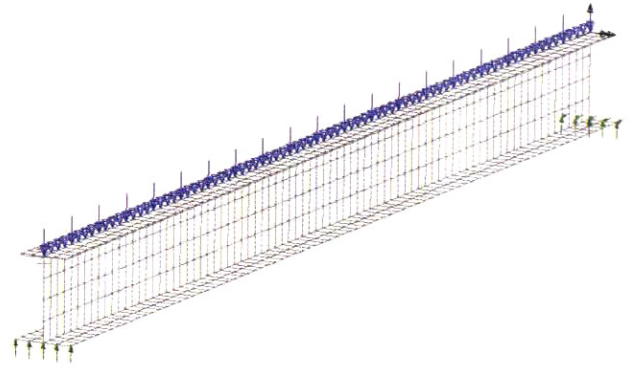


그림 9. 대상교량에 대한 유한요소모델(단순교)

전단 연결재는 교축방향으로 50cm 간격으로 배치하였으며, 그 강성 값은 1kgf/cm부터 바닥판 앵커의 초기강성 값(41,667kgf/cm)을 포함하여 10,000,000kgf/cm (무한강성으로 가정)까지 순차적으로 변화시키면서 해석을 수행하였다.

#### 3.1 단순 플레이트거더교

##### 3.1.1 대상교량의 제반조건

본 연구에서는 단순 플레이트거더교의 합성정도를 파악하기 위하여 그림 8과 같은 교량을 선택하여 유한요소해석을 수행하였다. 그림에 나타나 있듯이, 대상교량의 지간은 10m이고 하중은 전 지간에 걸쳐 50kgf/m의 등분포 하중을 재하 하였다. 그림 9는 대상교량에 대한 유한요소 해석모델로서, 콘크리트와 강재의 탄성계수 그리고 포아송비(Poisson's ratio)는 각각  $2.5 \times 10^5 \text{kgf/cm}^2$ ,  $2.1 \times 10^6 \text{kgf/cm}^2$  그리고 0.17 및 0.3으로 가정하였다.

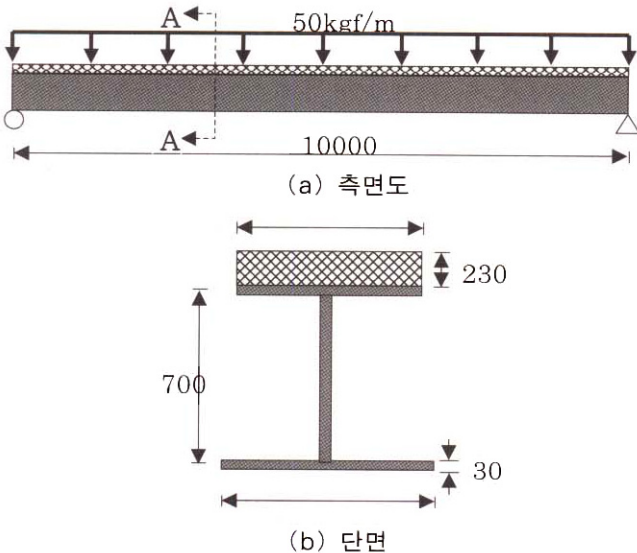


그림 8. 단순 플레이트거더교 (단위: mm)

##### 3.1.2 해석결과 및 합성정도의 분석

합성거더 교량의 합성거동은 전단 연결재의 강성이 클수록 완전합성거동에 가까운 거동을 보이고 작아짐에 따라 부분 합성거동을 보인다. 그러므로 전단 연결재의 강성의 변화에 따른 합성거동을 파악하기 위하여, 전단 연결재의 역할을 하는 조인트 요소의 강성을 변화시켜 그에 따른 합성거동을 분석하고, 그 중 실험에서 산출한 바닥판 앵커의 강성을 적용한 경우 어느 정도의 합성거동을 나타내는지에 대하여 검토하였다.

그림 10은 대상교량에 대한 유한요소해석의 결과를 보여주는 것으로, 지간길이에 따른 단위길이당강성( $K_e$ )별 상대슬립의 분포를 보여주고 있다.  $K_e$ 의 변화에 따른 합성정도를 그림 10을 통해 설명하면,  $K_e$ 가 아주 작은  $K_e = 0.02 \text{kgf/cm/cm}$  ( $1 \text{kgf/cm}$ 의 단위길이당강성)의 경우에는 지간 중앙에서 상대슬립이 없고 지간의 양끝으로 갈수록 슬립이 많이 발생하는 비합성형에 가까운 거동을 나타내고 있는 반면에,  $K_e = 200,000 \text{kgf/cm/cm}$  ( $10,000,000 \text{kgf/cm}$ 의 단위길이당강성)의 경우에는 상대슬립이 거의 발생하지 않는 완전합성거동을 나타낸다. 한편, 실험에서 산출한 바닥판 앵커의 초기강성 값  $41,667 \text{kgf/cm}$ 을 단위길이당강성으로 환산하면  $833.34 \text{kgf/cm/cm}$  ( $= 41,667 \times 2 / 100$ )로 계산되는데, 이 값을 적용한 해석 결과 즉 상대슬립은 그림 10에 나타나 있듯이 비합성과 완전합성거동에 의한 상대슬립사이에 분포한다.

그림 11은 지점부에서 발생하는 최대 상대슬립 값들을  $K_e$ 의 변화에 따라 나타낸 그림이고, 그림 12는 그림 11의 (a), (b), (c) 및 (d) 강성 값들에 대응하는 단면의 교축방향 변형을 분포를 보여준 그림이다. 그림 11은  $K_e$ 를 증가시킴에 따라 상대슬립의 값이 "0"에 근접하고 있는 것을 나타내고 있는

데, 강성 값이 증가할수록 완전합성에 가까운 거동을 나타내주는 공학적인 현상을 여기서는 정성적 및 정량적으로 확인시켜 주고 있다. 그림 11과 12를 통해서 대상교량의 전단 연결재의 합성거동을 살펴보면, 그림 11과 12의 (a)점에서의 단면의 변형을 분포는 비합성에 가까운 거동을 나타내고, (d)점에서의 그것은 완전합성에 가까운 거동을 보이고 있다. 그리고 (b)와 (c)점에서의 단면의 변형을 분포는 부분합성 거동임을 알 수 있다. 여기서, (b)점의 변형을 분포는 실험에서 얻은 바닥판 앵커의 초기강성 값에 대응하는 분포이다. 결국 그림 10에서 알 수 있었던 그림 11에서도 바닥판 앵커의 초기강성은 비합성과 완전합성거동에 해당되는 강성 값들 사이에 존재한다는 것을 알 수 있었다. 그림 12의 기호들  $\epsilon_{tc}$ ,  $\epsilon_{bc}$ ,  $\epsilon_{tf}$ ,  $\epsilon_{bf}$ 는 각각 콘크리트 상면과 하면에서의 교축방향 변형률들, 그리고 상부플랜지의 상면 및 하부플랜지의 하면에서의 교축방향 변형률들을 나타낸다.

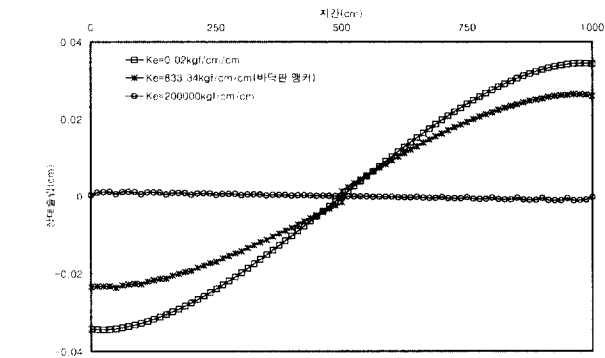


그림 10. 지간길이에 따른 단위길이당강성(Ke)별 상대슬립 분포(단순교)

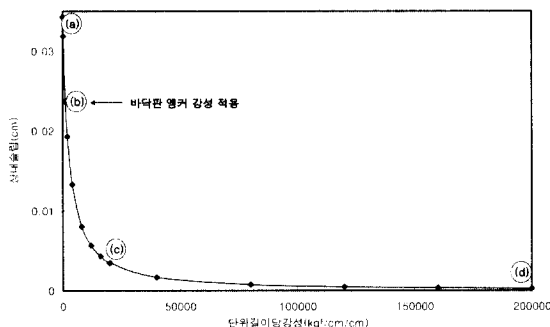
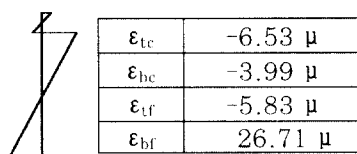
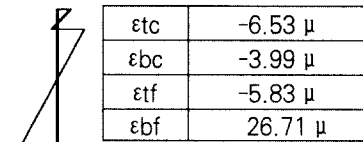


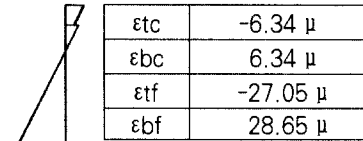
그림 11. 단위길이당강성(Ke)에 따른 상대슬립 비교(단순교)



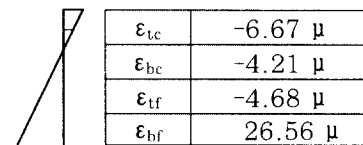
(a)  $Ke=0.02\text{kgf/cm/cm}$



(b)  $Ke=833.34\text{kgf/cm/cm}$



(c)  $Ke=20000\text{kgf/cm/cm}$



(d)  $Ke=200000\text{kgf/cm/cm}$

그림 12. 단위길이당강성(Ke)에 따른 변형률 분포(단순교)

한편, 상기의 바닥판 앵커의 해석결과는 앵커의 간격을 50cm로 배치한 경우이지만, 앵커의 간격을 20cm로 배치한 경우에도 부분합성의 거동을 보임을 알 수 있었다(한 2001). 이 경우 계산된 바닥판 앵커의 단위길이당강성  $Ke$ 는 50cm로 배치한 경우의 833.34kgf/cm/cm보다 증가한 2,083kgf/cm/cm (=41,667 $\times$ 5/100)이다. 이 값은 그림 11의 (b)와 (c)사이에 존재하며 이는 결국 부분합성의 거동을 의미한다.

### 3.2 2경간 연속 플레이트거더교

#### 3.2.1 대상교량의 제반조건

3.1절의 단순 플레이트거더교와 마찬가지로 본 절에서는 2경간 연속 플레이트거더교의 합성정도를 파악하기 위하여 대상교량(그림 13)을 선택하여 유한요소해석을 수행하였다. 그림 13에서 볼 수 있듯이, 대상교량의 지간은 20m이고 하중은 전 지간에 걸쳐 25kgf/m의 등분포 하중을 재하 하였다. 대상교량에 대한 유한요소 해석모델은 그림 14에 나타나 있고, 콘크리트와 강재의 탄성계수 그리고 포아송비는 단순 플레이트거더교의 그것들과 동일하게 가정하였다. 또한 전단 연결재는 교축방향으로 50cm 간격으로 배치하였으며, 그 강성 값은 1kgf/cm부터 바닥판 앵커의 초기강성 값(41,667kgf/cm)을 포함하여 10,000,000kgf/cm까지 순차적으로 변화시키면서 해석을 수행하였다.

한편, 대상교량의 내부지점부 콘크리트의 인장응력 저감효과를 검토하기 위하여 강성 값을 다음과 같은 두 가지의 경우로 나누어 해석을 수행하였다. 첫 번째 경우는 내부지점부로부터

터 양단으로 바닥판 앵커의 강성을 확장한 경우( $L_{sa}=1m \sim 20m$ )이고, 두 번째 경우는 전 지간에 무한강성을 적용한 경우( $L_{sa}=0m$ )이다. 그림 15는 첫 번째 경우에 대한 그림으로서, 그림의  $L_{sa}$ (바닥판 앵커의 강성 적용길이)는 1m에서 20m까지로 확장된다. 여기서,  $L_{sa}=1m$ 는 내부지점부 양쪽으로 0.5m에 바닥판 앵커의 강성을 적용한 경우이고,  $L_{sa}=20m$ 는 전 지간에 걸쳐 바닥판 앵커의 강성을 적용한 경우를 의미한다. 해석은  $L_{sa}$ 를 1m씩 증가시키면서 최종적으로 20m까지 순차적으로 수행되었다.

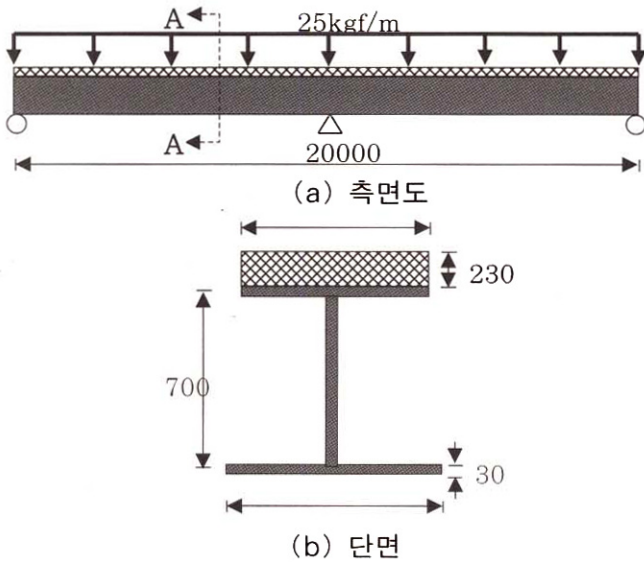


그림 13. 2경간 연속 플레이트거더교 (단위:mm)

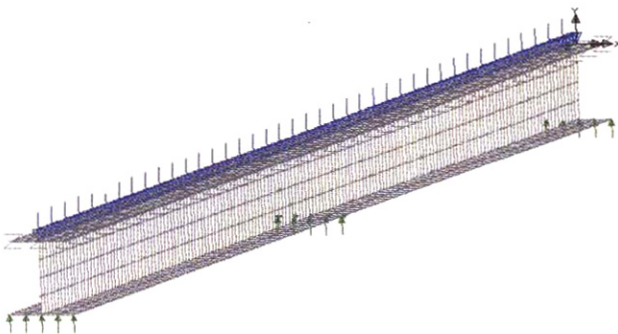


그림 14. 대상교량에 대한 유한요소모델 (연속교)

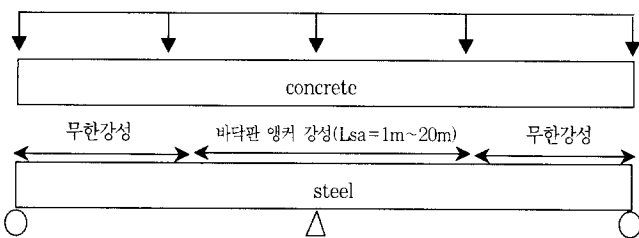


그림 15. 바닥판 앵커의 강성 적용길이( $L_{sa}$ )

### 3.2.2 해석결과 및 분석

2경간 연속 플레이트거더교의 경우에도 단순 플레이트거더교와 마찬가지로 전단연결재를 모사한 조인트 요소의 강성을 변화시켜 합성정도를 분석하고, 이 중 실험에 의한 바닥판 앵커의 강성을 적용한 경우에 어느 정도의 합성거동을 보이는데 대해 검토하였다. 그리고 추가적으로 실험에 의해 산정된 바닥판 앵커의 초기강성 값을 2경간 연속 플레이트거더교에 적용하였을 때 발생할 수 있는 내부지점부 콘크리트의 인장응력의 저감효과를 분석하였다.

그림 16은 2경간 연속 플레이트거더교의 지간길이에 따른 단위길이당강성( $K_e$ )별 상대슬립 분포를 나타내고 있고, 그림 17은 지점부에서 발생하는 최대 상대슬립 값들을  $K_e$ 의 변화에 따라 보여주고 있다. 그림들을 자세히 관찰하면, 전술한 단순 플레이트 거더교의 경향과 비슷하게 바닥판 앵커의 강성을 적용하였을 때 ( $K_e=833.34kgf/cm/cm$ )의 상대슬립은 비합성( $K_e=0.02kgf/cm/cm$ )과 완전합성( $K_e=200,000kgf/cm/cm$ )의 상대슬립사이에서 분포함을 즉 부분합성의 거동을 보임을 알 수 있었다. 대상교량은 50cm의 바닥판 앵커의 간격을 갖지만 만약 이 간격을 줄인다면 단위길이당강성이 증가할 것이고 결국 상대슬립량은 감소할 것이다. 따라서 그림 17에 보이는 기존의 바닥판 앵커의 강성보다는 오른쪽으로 그 위치가 이동될 것이다.

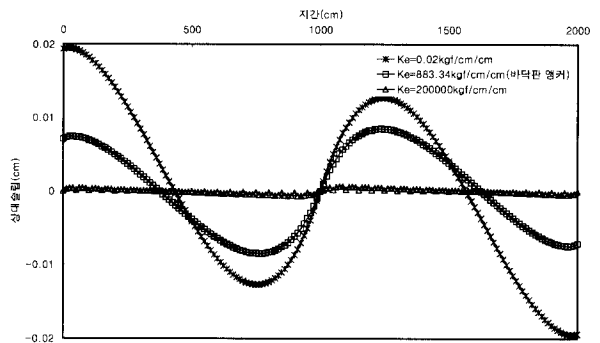


그림 16. 지간길이에 따른 단위길이당강성( $K_e$ )별 상대슬립 분포 (연속교)

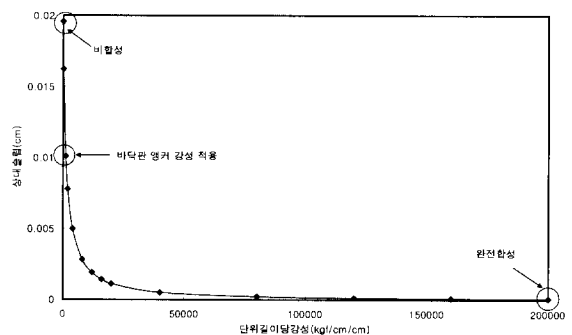


그림 17. 단위길이당강성( $K_e$ )에 따른 상대슬립 비교 (연속교)

예를 들어, 바닥판 앵커의 간격을 25cm로 설정한다면 단위 길이당강성은  $1,667\text{kgf/cm/cm}$ ( $=41,667 \times 4/100$ )로서 50cm의 그것( $833.34\text{kgf/cm/cm}$ )보다 증가하여 그림 17의 50cm의 위치보다 오른쪽으로 이동할 것이다. 그러나 이 또한 부분합성의 거동을 보인다.

그림 18은 대상교량의 지간길이에 따른 바닥판 콘크리트의 교축방향 법선응력들을 보여주고 있는데, 바닥판 앵커의 강성 적용길이(Lsa)에 따라 다수의 해석결과들이 있지만 그림에서는 4가지(Lsa=0, 500, 900, 2000cm)의 결과만을 나타내었다. 이때 바닥판 앵커의 단위길이당강성은  $833.34\text{kgf/cm/cm}$ 이다. 그림에서 보듯이, 부모멘트 지점(내부지점부)에서는 콘크리트의 인장응력이 바닥판 앵커를 적용함으로 인해 감소함을 정성적으로 알 수 있다. 또한, 정량적인 값들은 무한강성의 경우(Lsa=0cm)에는  $326\text{kgf/cm}^2$ , Lsa=500cm의 경우에는  $170\text{kgf/cm}^2$ , Lsa=900cm의 경우에는  $122\text{kgf/cm}^2$ , 그리고 Lsa=2000cm의 경우에는  $116\text{kgf/cm}^2$ 이다. 즉 정량적으로도 바닥판 앵커를 적용하였을 때 내부지점부 콘크리트 인장응력이 감소함을 확인 할 수 있다. 그리고 Lsa가 900cm인 경우에는 전 경간에 바닥판 앵커를 적용한 경우(Lsa=2000cm)와 그 인장응력에 있어서 큰 차이가 없음을 알 수 있었고, 또한 무한강성의 인장응력과 비교하여 Lsa=900cm인 경우의 인장응력은 그 값이 현저하게 감소하는 것을 알 수 있었다. 이는 본 대상교량의 경우 바닥판 앵커를 900cm로 배치하는 것이 내부지점부 콘크리트 인장응력의 저감효과 측면에서 가장 효율적이라는 것을 나타낸다.

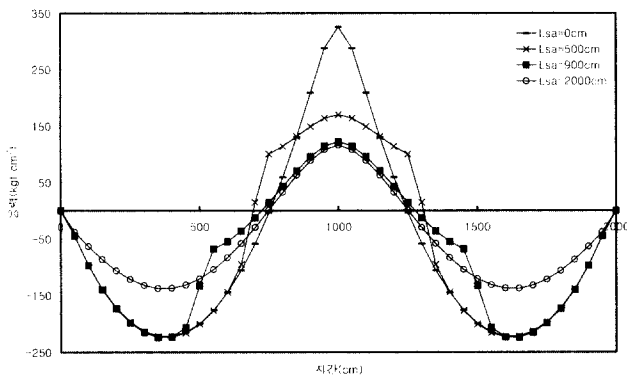


그림 18. 지간길이에 따른 바닥판 콘크리트의 교축방향 법선응력

#### 4. 결 론

본 연구는 바닥판 앵커를 사용하여 부분합성 정도를 비교·분석하는 해석 및 실험 연구로서, 실험 연구를 통해서 바닥판 앵커의 초기강성 값을 산정하였다. 그리고 단순 및 2경간 연

속 플레이트거더교의 유한요소해석 연구를 통해서 바닥판 앵커의 부분합성 정도를 비교·분석하였다. 또한, 실험에서 얻은 바닥판 앵커의 초기강성 값을 2경간 연속 플레이트거더교에 적용하여 바닥판 앵커를 설치함으로 인해 발생할 수 있는 내부지점부 콘크리트 인장응력의 저감효과를 검토하였다. 본 연구에서 수행한 연구결과를 정리하면 다음과 같다.

- (1) 실험 연구를 통해서 바닥판 앵커의 탄성구간에서의 초기강성 값을 산정하였다. 산정된 강성 값은  $41,667\text{kgf/cm}$ 로서 이 값은 바닥판 앵커 하나의 강성 값을 나타낸다. 타 연구결과(Oehlers와 Coughlan 1986)에서 제시한 스티드의 초기강성 값( $108,200\text{kgf/cm}$ )과 이 값을 비교하면, 후자는 전자의 약 39%의 강성에 해당됨을 알 수 있었다.
- (2) 단순 및 2경간 연속 플레이트거더교의 유한요소해석 결과에 의하면, 실험에서 산정된 바닥판 앵커의 초기강성에 대응하는 해석결과(상대슬립 및 변형을 분포)는 비합성거동과 완전합성거동에 대응하는 해석결과들의 사이에 분포함을 알 수 있었다. 결국 바닥판 앵커를 사용한 단면은 부분합성의 거동을 보인다는 것을 나타낸다.
- (3) 실험에 의한 앵커의 초기강성 값을 2경간 연속 플레이트거더교에 적용하여 내부지점부 콘크리트의 인장응력을 비교·분석한 결과, 앵커를 배치함으로 인해 그 인장응력이 상당부분 감소하는 것을 정성적 및 정량적으로 확인할 수 있었다. 이는 바닥판 앵커를 연속교의 부모멘트 구간에 적절하게 배치한다면 내부지점부 콘크리트에 발생하는 인장응력을 상당부분 감소시켜 줄 수 있다는 것을 나타내고 있다.

본 연구는 바닥판 앵커의 정적실험과 부분합성에 관한 거동 분석이 그 초점인 초기연구로서 몇 가지 한정된 사항에 대해서만 해석 및 실험을 수행하였다. 그러나 향후 바닥판 앵커에 대한 보다 더 많은 정적실험 및 피로실험, 그리고 스티드와의 혼합사용 시에 발생할 수 있는 응력변화에 대한 연구 등이 수행된다면, 현재 경험적으로만 규정하고 있는 바닥판 앵커의 설계 규정을 합리적으로 진보시킬 수 있는 근거를 마련할 수 있을 것으로 사료된다.

#### 참 고 문 헌

- 건설교통부 (1996) 도로교표준시방서.  
대한토목학회 (2003) 도로교설계기준·해설.

- 용환선, 김석태, 박재일 (1997) 불완전 합성율을 고려한 단순 합성형의 합성거동에 관한 연구, 한국강구조학회논문집, 한국강구조학회, 제9권, 제4호, pp.543-555.
- 용환선, 김윤환, 박용찬, 송수엽 (2002) 처짐을 고려한 불완전 합성형의 곡률특성에 관한 연구, 한국강구조학회논문집, 한국강구조학회, 제14권, 제6호, pp.803-811.
- 장승필, 강상규, 심창수 (1997) 연속합성형 교량의 전단 연결재 설계에 관한 연구, 한국강구조학회논문집, 한국강구조학회, 제9권, 제3호, pp.351-362.
- 한국도로교통협회 (2000) 도로교설계기준.
- 한상윤 (2001) Slab Anchor를 사용한 판형교의 거동특성 연구, 공학석사학위논문, 고려대학교.
- AASHTO (2002) Standard Specifications for Highway Bridges.
- Yam L C P., and Chapman J C (1981) The Inelastic Behavior of Simply Supported Composite Beams of Steel and Concrete, *Proceedings of the Institution of Civil Engineers*, Vol. 41, pp.651-683.
- BS5400 (1979) Steel concrete and composite bridges. Part5: Design of composite bridges British Standard Institution, London.
- D. J. Oehlers and C. G. Coughlan (1986) The Shear Stiffness of Shear Connections in Composite Beams, *J. Constructional Steel Research.*, Vol. 6.
- NewMark, N. M., Siess, C. P., and Viest, I. M. (1951) Test and analysis of composite beams with incomplete interaction, *Exp. Stress Anal.* Vol. 9, No. 1, pp.75-92.
- R. Seracino, D. J. Oehlers, M. F. Yeo. (2001) Partial-interaction flexural stresses in composite steel and concrete bridge beams, *Engineering Structures*, Vol. 23, pp.1186-1193
- (접수일자 : 2004. 2. 14 / 심사일 2004. 2. 25 / 심사완료일 2004. 5. 25)