

# 교대일체식 접속슬래브에 대한 프리스트레스의 적용성 검토

## Application of Prestress for Abutment Integral Approach Slabs

이흥수\* · 임유진\*\* · 남영국\*\*\*

Lee, Heung Su · Lim, Yu Jin · Nam, Young Kug

### 1. 서론

교량 접속부 뒷채움 영역은 뒷채움재 자체의 압밀과 차량 진동에 의한 침하로 접속슬래브 아래에 공극이 발생한다. 또한, 교량바닥면을 흐르던 우수가 접속슬래브와 교대 사이의 공간을 통해 또는 도로를 월류하여 접속슬래브 하면으로 흘러 뒷채움재의 소실을 유발하여 뒷채움재와 접속슬래브 사이에 공극이 형성되고 있다. 뒷채움재에 발생된 공극은 접속슬래브의 처짐과 단차 및 접속슬래브와 교량 바닥판에 균열을 발생시켜 도로 주행성을 악화시키고 있는 실정이다. 교량접속부의 단차와 침하에 따른 충격은 도로유지보수 비용과 시간을 증가시키고, 운전자의 자동차 제어를 악화시키고, 차량의 손상을 유발하고, 제설차에 의한 교량 바닥판의 손상을 유발하는 등 많은 문제점을 내포하고 있다.

뒷채움재 영역에 공극이 발생하더라도 접속슬래브의 처짐이 최소화될 수 있는 신개념 접속슬래브로 교대와 접속슬래브가 일체화된 교대일체식 접속슬래브가 개발되었다. 교대일체식 접속슬래브는 노면의 우수가 뒷채움재로 침투하는 것을 최소화시킬 수 있을 것이며, 도로의 주행성 향상에 이바지 할 것이다. 그러나, 교대일체식 접속슬래브도 뒷채움재 영역에 공극이 과도하게 발생하면 접속슬래브에 처짐과 발생응력이 증가하여 콘크리트에 균열을 일으킬 수 있다. 따라서, 콘크리트에 발생하는 응력을 감소시키고자 접속슬래브에 PS장재를 적용하는 방법을 검토하였다.

교대일체식 접속슬래브의 지점조건을 뒷채움재의 소실 또는 침하 가능성을 고려하여 표 1과 같이 7개의 Case로 구분하고, 각 Case에서 프리스트레스 도입여부에 따른 거동 변화를 분석하여 교대일체식 접속슬래브에 프리스트레스를 적용하는 방안을 검토하였다.

표 1. 교대일체식 접속슬래브의 해석 조건

|        |                    |                     |                     |
|--------|--------------------|---------------------|---------------------|
| Case 1 | 100% 지지할 경우        |                     |                     |
|        |                    |                     |                     |
| Case 2 | (a) 50% 지지할 경우(왼쪽) | (b) 50% 지지할 경우(오른쪽) |                     |
|        |                    |                     |                     |
| Case 3 | (a) 30%지지할 경우 (왼쪽) | (b) 30%지지할 경우 (중앙)  | (c) 30%지지할 경우 (오른쪽) |
|        |                    |                     |                     |
|        | 지지를 못할 경우          |                     |                     |
| Case 4 |                    |                     |                     |

\* 정회원 · (주)한맥기술 연구실장 · 공학박사(E-mail : hslee@hanmaceng.co.kr) -발표자

\*\* 정회원 · 배재대학교 건설환경공학과 부교수 · 공학박사(E-mail : yujin@pcu.ac.kr)

\*\*\* 정회원 · (주)한맥기술 연구원장 · 공학박사(E-mail : yknam@incheon.ac.kr)

## 2. 교대일체식 접속슬래브

교대일체식 접속슬래브는 그림 1에 보여지는 바와 같이 교대와 접속슬래브를 일체화하고, 접속슬래브 내부에 필요에 따라 PS강재를 설치하여 프리스트레스를 도입하는 구조를 취하고 있으며, 접속슬래브 상면에는 일정부분을 표층으로 처리하여 차량에 의한 하중이 접속슬래브로 직접 전달되는 것을 피하고자 하며, 접속슬래브와 포장 경계 하면에는 반침슬래브를 설치하여 접속슬래브의 변형에 따라 도로지반에 집중하중이 작용하는 것을 제어하고자 하도록 하였다.

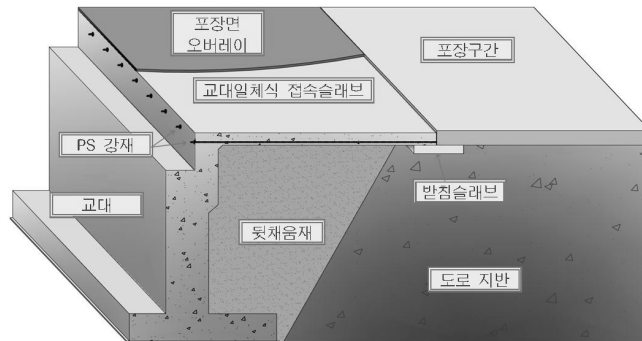


그림 1. 교대일체식 접속슬래브 개념도

## 3. 교대일체식 접속슬래브 구조해석

### 3.1 구조해석 모델링

교대일체식 접속슬래브에 PS강재를 설치하여 프리스트레스를 도입함에 따른 거동을 파악하여 교대일체식 접속슬래브에 프리스트레스의 적용 가능성을 검토하고자, 편도2차선을 갖는 고속도로 교량에 사용된 길이 6m, 폭 10m, 두께 0.4m를 갖는 접속슬래브를 기준으로 하여 검토하였다. 교대일체식 접속슬래브에 대한 구조해석은 유한요소해석 프로그램인 Midas를 사용하여 그림 2(b)와 같이 슬래브와 교대를 Beam요소로 모델링하였고, PS강재는 그림 2(c)와 같이 접속슬래브에 교축방향으로 배치하고, 지반모델은 그림 2(d)와 같이 Surface Spring Support에서 지반지력계수  $K_{30}=20\text{kgf/cm}^3$ 을 갖는 Elastic Link 요소를 압축만 받도록 하여 모델링하였다. 교대와 접속슬래브의 설계강도는 현재 설계에 일반적으로 적용하는 값인 24MPa를 사용하였다. 이에 따른 균열응력은 1.2MPa이 된다.

표 2. 교대일체식 접속슬래브 모델링

|         |                |                |          |
|---------|----------------|----------------|----------|
|         |                |                |          |
| (a) 모델링 | (b) 구체 Beam 모델 | (c) PS강재 배치 모델 | (d) 지반모델 |

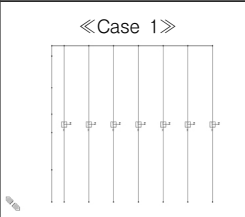
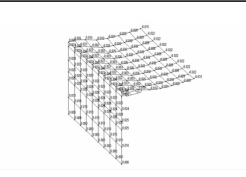
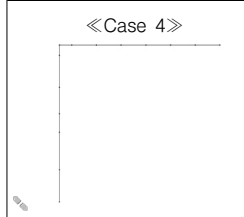
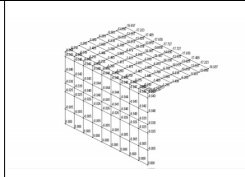
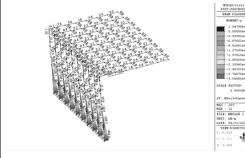

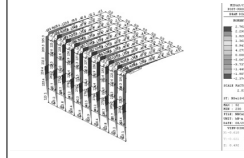
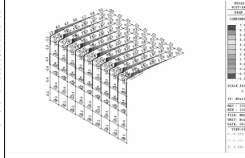
작용하중으로는 구조물 자중과 접속슬래브 상부에 두께 80mm로 포설된 표층 포장하중이 작용하며, PS강재가 사용된 경우에 프리스트레스 하중이 작용하고, 뒷채움재의 수평토압이 교대에 작용한다. 뒷채움재가 일

정 정도 침하 또는 소실되면 접속슬래브에 발생된 휨인장응력이 균열응력을 초과하므로 발생응력을 감소시키는 것이 필요하다. 따라서 휨인장응력을 감소시키기 위해서 교대일체식 접속슬래브에 PS강재를 1m 간격으로 배치하였다. PS강재는 단면적  $138.7\text{mm}^2$ 을 갖으며, 극한강도 1900MPa, 항복강도 1600MPa를 갖는 비부착강재를 적용하였다. PS강재는 포스트텐션 방식으로 긴장하며, 긴장력은 극한강도의 70%인 1330MPa를 작용시켰다.

### 3.2 구조해석 결과

교대일체식 접속슬래브는 캔틸레버 형상을 갖고 있어 교대와 접속슬래브 접합 부근에서 부모멘트가 크게 발생하여 균열이 발생할 것으로 예상되어 이에 대한 검토를 수행하였다. 표 1에 설명된 바와 같이 뒷채움재가 있는 경우는 Case 1이며, 뒷채움재가 없는 경우는 Case 4로 나타내었다. 해석 결과를 보면, 뒷채움재가 없는 Case 4의 경우에는 처짐이 크게 발생하고 교대부근의 인장응력이 균열응력을 초과하여 균열이 발생하는 것으로 나타났으나, 뒷채움재가 있는 Case 1의 경우에는 처짐이 대폭 감소하고 교대 부근에 발생된 인장응력이 균열응력 이하로 나타났다. 교대일체식 접속슬래브가 과도한 캔틸레버 형상을 갖지만 교량접속부에는 뒷채움재가 있어 적용 가능한 것으로 나타났다.

표 3. 뒷채움재 유무에 따른 거동 변화

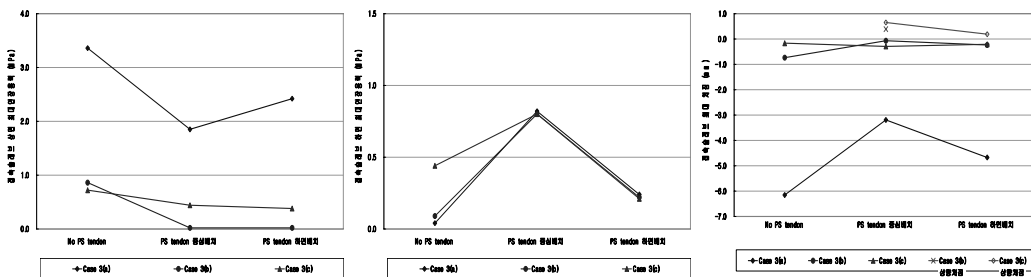
| 지지조건   | No PS Tendon   | 지지조건   | No PS Tendon   |
|--|--|--|--|
| <p>《Case 1》</p>  |  <p>최대 처짐=0.032mm</p> | <p>《Case 4》</p>  |  <p>최대 처짐=17.727mm</p> |
|                 |                     |                 |                      |
| <p>접속슬래브 최대모멘트<br/>= -19.5kN·m</p>   | <p>최대인장응력=0.37MPa</p>  | <p>접속슬래브 부모멘트<br/>= -237.5kN·m</p>   | <p>최대인장응력=7.54MPa</p>  |

현재 도로설계요령에서는 접속슬래브 설계시에 접속슬래브 길이의 70%를 지간으로 하는 단순보로 보고 계산하도록 하고 있다. 표 4에 보여지는 해석조건 Case 3(c)의 해석결과와 교대일체식 접속슬래브 길이의 70%에 공극이 발생한 것으로, 이를 대표적으로 자세히 살펴보고 각 해석조건에 대한 결과를 뒤에서 살펴보고자 한다. 표에서 중심배치는 접속슬래브 하면에서 1/2 되는 곳에 PS강재를 배치한 것이고, 하면배치는 하면에서 1/4지점 되는 곳에 PS강재를 배치한 것을 나타낸다. 상향처짐은 하중에 의해 접속슬래브가 뒷방향으로 들린 것을 나타내며, 상면응력과 하면응력은 교대 구체를 제외한 접속슬래브만의 응력을 나타낸다. 표 4의 처짐 발생현황을 보면 PS강재가 배치됨으로서 오히려 처짐이 증가하는 것으로 나타났으며, PS강재를 배치한다면 중심에 배치하는 것보다 접속슬래브 하면에 배치하는 것이 처짐과 상향처짐을 감소시키는 것으로 나타났다. 접속슬래브에 발생한 응력은 상면응력과 하면응력 모두 PS강재가 하면배치됨으로서 50% 정도 감소되는 것으로 나타나, PS강재는 처짐보다는 접속슬래브에 발생하는 응력을 감소시켜 균열을 제어하는데 효과적인 것으로 나타났다. 또한 교대 구체에 발생한 응력도 균열응력 이하로 접속슬래브가 교대에 접속됨에 따라 교대에 응력이 크게 증가하거나 하지는 않는 것으로 나타났다.

표 4. 해석조건 Case 3(c)의 해석 결과

| 지시조건              | No PS Tendon   | PS Tendon 중심배치                 | PS Tendon 하면배치                 |
|-------------------|----------------|--------------------------------|--------------------------------|
| <<Case 3(c)>><br> |                |                                |                                |
|                   | 최대 처짐=0.167mm  | 최대 처짐=0.291mm<br>상황 처짐=0.650mm | 최대 처짐=0.210mm<br>상황 처짐=0.188mm |
| 접속슬래브<br>상면응력     |                |                                |                                |
|                   | 최대인장응력=0.72MPa | 최대인장응력=0.44MPa                 | 최대인장응력=0.38MPa                 |
| 접속슬래브<br>하면응력     |                |                                |                                |
|                   | 최대인장응력=0.44MPa | 최대인장응력=0.80MPa                 | 최대인장응력=0.21MPa                 |

그림 2는 표 1의 해석조건 Case 3에 대한 해석결과를 정리한 것으로, 접속슬래브 길이의 30%만 건전하고 나머지 70%에는 공극이 발생한 상황에 대한 것이다. 그림 2(a)는 접속슬래브 상면에 발생하는 최대인장응력을 나타낸 것으로 캔틸레버 형태를 갖는 Case 3(a)의 응력이 상당히 크게 발생하고 있어 뒷채움재가 캔틸레버 형태로 침하나 소실이 발생하지 않도록 해야 하는 것으로 나타났다. 그림 2(b)는 접속슬래브 하면에 발생하는 최대인장응력을 나타낸 것인데, 상면의 최대인장응력보다 응력값이 대체로 작게 나타나는데 PS강재가 중심배치된 경우에는 응력이 크게 증가하는 것을 볼 수 있다. 이것은 PS강재의 배치에 따라 인장응력이 오히려 증가할 수도 있음을 보여주는 것으로 PS강재 배치시에 주의가 필요함을 나타낸다. 그림 2에서 처짐과 최대인장응력 발생 형태를 보면 교대측에 공극이 있는 경우보다 교대 반대쪽인 포장측에 공극이 발생하는 경우가 구조물에 불리하게 나타나, 포장측에는 자유단 형성을 방지할 수 있는 요소로 받침슬래브와 같은 지지수단이 필요한 것으로 판단된다.

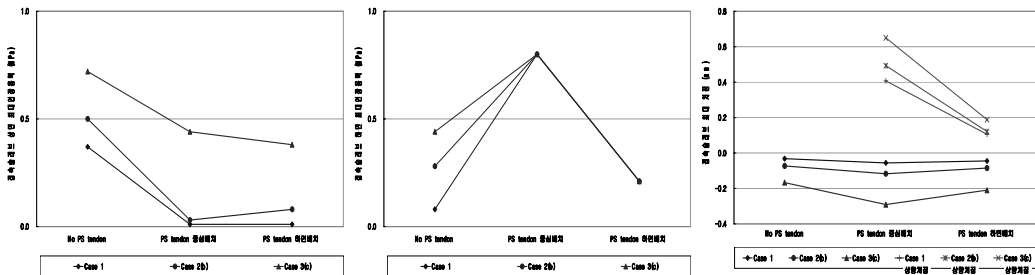


(a) 접속슬래브 상면 최대인장응력 (b) 접속슬래브 하면 최대인장응력 (c) 접속슬래브 최대 처짐

그림 2. 해석조건 Case 3의 응력 및 처짐 발생 현황

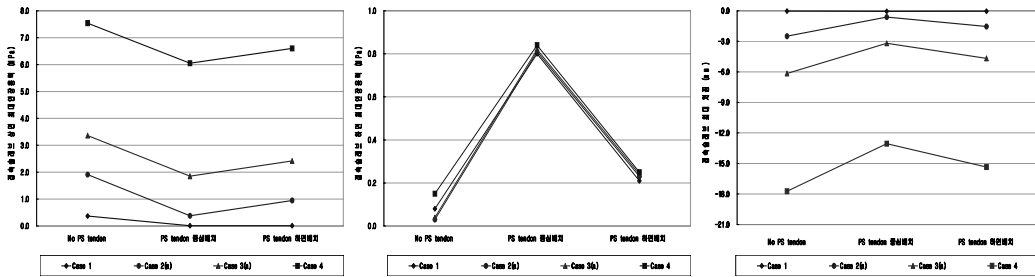
그림 3은 교대측에 발생된 공극의 크기 증가에 따른 접속슬래브 상면 최대인장응력인데, 공극의 길이가 50%(Case 2(b))에서 70%(Case 3(c))로 증가함에 따라 최대인장응력이 상당히 크게 증가하는 것으로 나타나 공극발생의 범위를 최소화하는 것이 필요한 것으로 보인다. 그림 4는 캔틸레버 형태를 갖도록 공극이 발생한 경우에 대한 접속슬래브 상면 최대인장응력을 정리한 것이다. 그림 4에서 PS강제가 배치되면 최대인장응력이 감소하는 것으로 나타났으며, 하면배치보다 중심배치된 경우에 최대인장응력이 작게 나타났는데 이것은 캔틸레버 구조는 부모멘트가 발생하는데 PS강제가 하면배치됨으로서 부모멘트를 증가시키기 때문으로 판단된다.

이상의 결과를 살펴보았을 때, 교대일체식 접속슬래브가 캔틸레버 형태가 되도록 공극이 발생하면, 인장응력과 처짐이 크게 발생한다. 따라서 포장측에서 먼저 공극이 발생하지 않도록 하는 것이 필요하며 이를 보완할 수 있는 방법으로 받침슬래브의 적용이 가능할 것으로 보인다. 이와같이 캔틸레버 형태를 취할 때는 PS강제가 중심배치되는 것이 유리하나, 일반적으로 공극은 교대측에서 발생하므로 하면배치를 취하는 것이 적당할 것으로 판단된다.



(a) 접속슬래브 상면 최대인장응력 (b) 접속슬래브 하면 최대인장응력 (c) 접속슬래브 최대 처짐

그림 3. 교대측 공극발생에 따른 응력 거동



(a) 접속슬래브 상면 최대인장응력 (b) 접속슬래브 하면 최대인장응력 (c) 접속슬래브 최대 처짐

그림 4. 포장측 공극발생에 따른 응력 거동

#### 4. 결론

뒷채움재의 침하와 소실에 따라 접속슬래브 하면에 공극이 발생하더라도 접속슬래브의 처짐을 최소화시킬 수 있는 교대일체식 접속슬래브가 개발되었다. 교대일체식 접속슬래브 하면의 공극 발생을 7가지의 경우로 구분하여 구조해석을 수행하고, 콘크리트에 발생하는 응력을 감소시킬 수 있도록 접속슬래브에 PS강제를 적용하는 방법에 검토하였다.

- 교대일체식 접속슬래브가 캔틸레버 형상으로 상당한 부모멘트의 발생이 예상되나 뒷채움재가 있는 경우에는 구조적으로 안전하여 교량접속부에 적용가능한 것으로 나타났다.
- 교대일체식 접속슬래브에서 PS강제는 접속슬래브의 처짐을 감소시키기 위해 주의깊게 배치해야 하며,



교대측 공극 발생시에 PS강재를 배치한다면 중심에 배치하는 것보다 접속슬래브 하면에 배치하는 것이 처짐과 상향처짐을 감소시키는 것으로 나타났다.

- 접속슬래브에 발생한 하면응력은 PS강재가 중심배치된 경우보다 하면배치됨으로서 대폭 감소하였다.
- 교대측에 공극이 있는 경우보다 교대 반대쪽인 포장측에 공극이 발생하는 경우가 구조물에 불리하게 나타나, 포장측에는 자유단 형성을 방지할 수 있는 요소로 받침슬래브와 같은 지지요소가 필요한 것으로 나타났다.

향후, 교대일체식 접속슬래브의 적용 길이와 두께 등에 대한 검토와 받침슬래브가 적용된 경우의 효과에 대해 해석적 및 실험적인 규명이 필요한 것으로 보여진다.

### 감사의 글

본 연구는 국토해양부 건설기술혁신 연구개발사업의 연구비 지원(과제번호 07-기술혁신-A01)에 의해 수행되었습니다. 지원에 감사드립니다.

### 참고 문헌

1. 건설교통부(1998), “도로부대시설(교량부대시설,철근가공조립,기타시설편)”
2. 한국도로공사(2002),“도로설계요령 : 교량”
3. 한국도로공사 도로연구소(2000),“박스암거상부 콘크리트 포장체의 보강방안 개선 연구”
4. 한국도로교통협회(2005),“도로교설계기준”
5. David White, Sri Sritharan, Muhannad Suleiman, Mohamed Mekkawy, and Sudhar Chetlur (2005), “Identification of the best practices for design, construction, and repair of bridge approaches”, Iowa DOT Project TR-481
6. X, M. Shi, C.S. Cai, G. Voyiadjis and Z. Zhang, Finite Element Analysis of Concrete Approach Slab on soil Embankment.