

PSC거더교 교량받침의 하자원인 분석 및 보수방안

글 | 조현준 | 토목기술부 대리 || 전화 : 02-3433-7918 || E-mail : hjcho@ssyenc.com

글 | 김현성 | 토목기술부 대리 || 전화 : 02-3433-7778 || E-mail : hyunsung93@ssyenc.com

1. 개요

교량받침은 상부구조를 지지하면서 상부구조의 하중을 하부구조에 전달하고, 구조물에서 발생하는 이동과 회전변위를 허용하여 구속에 의한 부가적인 응력이 발생하지 않도록 하는 역할을 한다. 근래에는 그 기능이 개선되고 여러 방면으로 다양화되어 더욱 효율적인 거동을 가지도록 개발되고 있다. 특히 지진시에 대비하여 지진력을 흡수하거나 낙교를 방지하는 면진받침 또는 내진받침 등이 시공현장에 적용되고 있다.

교량받침이 설계오차나 시공오차로 원래의 기능을 수행하지 못할 경우에는 구조물의 내하력을 저하시켜 교량 상하부구조에 큰 손상을 초래할 수 있다. 따라서 정확한 설계와 철저한 시공관리를 통해 받침이 계획대로 시공되도록 해야 하며, 안전성과 기능성 확보를 위해 오차원인과 변형요인 등을 지속적으로 분석하여 받침의 본 기능을 다할 수 있도록 유지관리가 되어야 한다.

또한, 교량 받침의 설치시 시공시점과 관련된 시간적 요인을 반영하지 않는 경우가 대부분이다. 시공 이후 발생할 변위의 예측은 받침을 점검할 때 보수여부를 판단하기 위한 중요한 사항이며, 상부 구조물 시공 이후 발생할 이동변위 및 회전변위를 예측하고 허용 유격을 확인하여야 한다.

PSC거더교의 받침에 발생하는 하자의 원인에는 설계 및 제작오차, 시공오차, 받침의 손상 그리고 시공 중 구조물의 변형 등이 있다. 이러한 원인들은 받침부의 손상이나 편기 및 편심을 일으켜 구조물의 내구 수명을 단축시킬 수 있기 때문에 정밀 계측을 통하여 보수하여야 한다. 본 고에서는 교량 받침의 하자 중 주로 PSC거더교의 시공오차로 인해 발생하는 편심 또는 편기에 대한 원인을 분

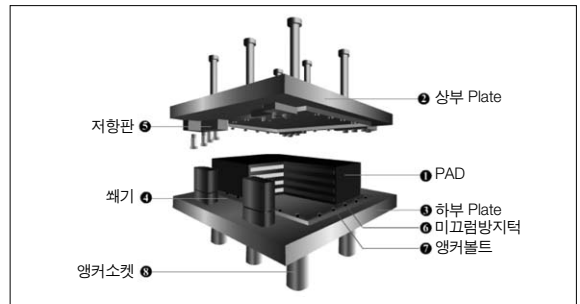
석하고 추후 발생 변위량을 산정하여 보수가 필요한 범위를 검토해 본다. 또한, 허용 유격을 확보하지 못한 받침의 경우 그 보수방안에 대하여 알아보려고 한다.

2. PSC거더교에 사용되는 받침의 종류

일반적으로 PSC거더교에 사용되는 교량받침에는 탄성받침, 포트받침, 스페리칼 받침이 있다. 이들은 모두 내진성능을 가지고 있으며, 통상 내구연한을 60년으로 보고 설계되고 있다. 각각의 받침별 특징을 <표 1>에 나타내었고, 교량받침 시공시 교량의 규모와 성능에 맞추어 적절히 사용되어야 한다.

2-1. 탄성받침

탄성받침은 상부판과 하부판 사이에 강판으로 보강된 적층 고무패드를 통해 수직력 전달 및 회전기능을 가지도록 하고 고무패드와의 전단변형으로 수평변위를 흡수하는 받침 장치이다. 탄성받침은 설치가 간편하고 부식이 적어 유지관리 측면에서 경제적인 받침이다.



[그림 1] 탄성받침(고정형)

2-2. 포트받침

포트받침은 강제 원형용기 속에 밀폐된 고무판을 통해 수직력을 전달하고 회전기능을 갖도록 하며, 중간판 상면에 끼워진 불소수지(Virgin PTFE)판이 상부 스테인리스판과 미끄러지는 기능을 갖도록 하는 받침 장치로 내구성이 뛰어나고 시공후 외관이 미려하다는 장점이 있다.



[그림 2] 포트받침(일방향 가동형)

2-3. 스페리칼받침

스페리칼받침은 상·하부판 중앙에 한쪽은 곡면 다른 쪽은 평면형상을 갖는 중간판에 의해 수직 및 회전기능을 갖도록 하고, 중간판의 상·하면이 불소수지판에 의해 미끄러지는 기능을 갖도록 한

받침 장치이다. 본 받침은 지진시 수평력에 대한 저항력이 크고 별도의 낙교 방지시설과 부반력 장치가 필요없어 안전성이 뛰어난 교량 받침이다.



[그림 3] 스페리칼받침(일방향 가동형)

3. PSC거더교 받침의 편기 및 편심

교량받침 하자의 종류에는 편심, 편기, 볼트풀림, 장치의 불량이나 손상, 상·하면 콘크리트의 균열이나 파손, 유지관리 불량 등이 있다. 이번 절에서는 PSC거더교 시공 오차로 인해 빈번히 발생하는 받침의 편심 및 편기에 대한 일반적인 사항들과 하자발생 원인에 대하여 살펴보기로 한다.

<표 1> PSC거더교 받침의 종류 및 특징

| 받침명 | 탄성받침(Elastomeric Bearing) | 포트받침(Pot Bearing) | 스페리칼받침(Spherical Bearing) |
|------|---|---|---|
| 형상 | | | |
| 장점 | <ul style="list-style-type: none"> · 모든 받침이 수평력을 분담 · 교각당 수평력이 작음 · 상시 충격흡수 능력이 탁월함 · 전방향 회전기능(0.03~0.04rad) · 지압면적이 넓음 · 설치 및 보수가 용이 | <ul style="list-style-type: none"> · 큰 수직하중에 적합(5000톤) · 전방향 회전기능(0.01~0.02rad) · 미찰계수가 작음(0.03) · 고무판에 의한 충격흡수 양호 · 중량이 작고, 설치 및 교체 시공성 양호 · 설치 시 온도에 따른 시공 용이 | <ul style="list-style-type: none"> · 큰 수직하중에 적합(3000톤) · 회전용량(0.035rad)이 커서 캠버가 큰 교량에 적합 · 용융아연도금으로 내구성 증대 및 유지관리 용이 |
| 단점 | <ul style="list-style-type: none"> · 수직력이 클 경우 큰 면적 필요 · 고무패드의 물성치 변화 가능성에 대한 불안감 · 이동변위량이 비교적 작고 장대교량에 불리 | <ul style="list-style-type: none"> · 허용회전각이 작음 · 불소수지판 마모 한계 시 교체 및 정기적 윤활유 공급 필요 | <ul style="list-style-type: none"> · 중량이 다소 큼 · 불소수지판 마모 한계 시 교체 필요 |
| 유지관리 | 불필요 | PTFE교체(20년) 및 윤활유 공급 | PTFE교체(20년) 및 윤활유 공급 |
| 경제성 | 경제적 | 보통 | 다소 고가 |
| 적용성 | 단경간, 중소교량 / 콘크리트교 | 연속교, 장대교량 / 강교, 콘크리트교 | 연속교, 장대교량 / 강교, 콘크리트교 |

3-1. 받침의 편심 및 편기

1) 교축방향(중방향)

받침의 교축방향(중방향) 편심 및 편기 현상은 아래의 <표 2>와 같다. 편심은 상부구조의 받침중심선과 하부구조의 받침중심선이 서로 거리를 두어 어긋나는 경우이고, 편기는 상부구조의 받침중심선과 하부구조의 받침중심선이 기울어져 어긋난 경우이다. 또한, 이 두 가지가 모두 발생하는 경우도 있다.

<표 2> 받침의 중방향 편심 및 편기

| 구분 | 개요도 | 특징 |
|---------|-----|---|
| 편심 | | <ul style="list-style-type: none"> 하부플레이트의 중심축과 상부플레이트의 중심축이 수평방향으로 어긋남 허용 변위량 감소 부가적 응력 발생 지진 시 상부구조의 탈락 |
| 편기 | | <ul style="list-style-type: none"> 하부플레이트 또는 상부플레이트가 중심축선으로부터 기울어짐 응력 집중 허용변위 미수용 |
| 편심 및 편기 | | <ul style="list-style-type: none"> 하부플레이트 또는 상부플레이트가 수평방향으로 중심축으로부터 벗어남 하부보강의 파손 지진 시 상부구조의 탈락 |

2) 교축직각방향(횡방향)

교축방향의 경우와 마찬가지로 교축직각방향(횡방향)으로도 편심, 편기, 편심 및 편기 등이 발생한다. 이들은 교량의 편심하중으로 인한 비틀림응력발생, 교량 및 교각의 응력집중, 허용변위초과로 인한 부가 응력 발생, 지진 시 교량의 탈락 등과 같은 구조물에 대한 부작용을 일으켜, 교량의 내구수명을 단축시킨다.



[그림 4] 편기 및 편심 발생 사례

3-2. 받침의 편기 및 편심 발생 원인

받침의 편심 및 편기 발생 원인에는 여러 가지가 있다. 그 중 가장 일반적인 사항으로는 설계 제작시 발생하는 설계 및 제작오차, 받침의 시공이나 거더의 거치 시 발생하는 시공오차, 그리고 거치 후 작용하중에 의한 구조물의 변형 발생 등이 있다.

1) 설계 및 제작오차

- 거더의 강선배치 오류 등으로 거더가 뒤틀리게 제작되거나 거더 단부에 매입하는 상부플레이트의 뒤틀림으로 거더가 좌우 수평을 이루지 못하여 기울어지는 경우
- 받침의 제작 오차
- 설계오류로 인한 받침의 오선정
- 고정하중 산정오류로 구조물의 과다변형 발생
- 구조물 제원 차이로 인한 받침의 부적절성

2) 시공오차

- 평면 접촉부에서 신축기능을 가지고, 곡면 접촉부에서 회전기능을 갖는 받침에서 이동과 회전이 동시에 발생함으로써 받침의 허용치보다 크게 변위가 발생하는 경우
- 중단구배가 있는 교량의 경우 PSC거더 제작시 교량받침 상부에 강판을 미리 삽입하여 웨지를 둠으로써 중단경사를 조절하는데, 이때 시공오차로 인하여 강판의 수평을 유지하지 못하는 경우
- PSC거더에 긴장력이 도입되면서 캠버의 영향으로 거더의 하단에 부착된 상부받침장치가 교축방향으로 수평을 이루지 못하여 거더의 중앙축으로 받침장치의 한쪽면이 들리게 되는 경우
- 하부받침장치 설치시, 상부받침 설치 후 교축방향으로 수평을 이루지 못하여 기울짐이 발생하는 경우
- PSC거더 거치 후 가로보 및 바닥판 타설을 통한 연속화 과정에서 단부에서 교축직각방향으로 변위가 발생하여 곡선교의 경우 받침이 횡방향으로 이동하는 경우

3) 변형 발생

- 거더 제작 시기를 고려하여 거더 거치시 교량받침의 중심선 위치를 보정하지 못한 경우
- 고정하중 또는 활하중 증가로 인한 구조물의 영구변형 및 피로 변형 발생

이와 같이 교량받침의 편심 및 편기는 교량받침 거동의 이해 부족, PSC거더의 제작 및 가설시 부주의, 하부 받침의 설치부주의 등 미흡한 시공에 의해 발생하는 경우가 많으며, 보수여부를 판단하여 적절한 방법으로 보수하여야 한다.

4. 받침오차 변위량 산정에 따른 하자 범위 판단

4-1. 표준시방서에 의한 시공도 기준

도로교 표준시방서의 받침설치 기준에 따르면 PSC거더의 거치시 받침의 최대 이동편차는 5mm이내이며, 스페리칼 받침의 수평도는 1/100으로 정밀한 시공을 요한다.

(표 3) 받침의 오차 범위

| 검사항목 | 콘크리트교 | 강교 |
|--------------------------------------|-------------------|----------------------------|
| 받침중심간격(교축직각방향) | ±5mm | 4+0.5(B-2)mm ¹⁾ |
| 가동받침의 이동가능량 | 설계이동량 + 10mm이상 | |
| 가동받침의 교축방향 이동편차 동일받침선상의 상대오차 | 5mm | |
| 설치높이 | ±5mm | |
| 교량 전체 받침의 상대높이 오차 | 6mm | |
| 단일BOX를 지지하는 인접받침의 상대높이 오차 | 3mm ²⁾ | |
| 받침의 수평도 ³⁾ (교축 및 직각방향) | 포트받침 | 1/300 |
| | 기타받침 | 1/100 |
| 앵커볼트의 연직도 | 1/100 | |

- 1) B : 받침중심간격(m)
- 2) 받침의 상·하면 사이의 수평도
- 3) 받침에 유해한 영향이 있는 경우는 감독자의 지시에 따름

4-2. 설치 후 수평 이동량에 대한 검토

받침하자가 발생하여 보수가 필요할 경우, 교량마다 거더가 거치되는 시점이 다른 상황에서 받침 설치 후부터 공용 시까지의 변위량에 대한 예측 없이 보수하게 되면 공사비의 낭비나 허용 범위를 초과하는 경우가 발생한다. 이는 공용 중 구조물의 내하력 및 받침의 내구연한을 감소시킬 수 있기 때문에 향후 발생할 수 있는 변위량을 예측하여 적절한 보수법을 선정하도록 한다. 교량받침의 수평이동을 발생시키는 요인에는 여러가지가 있으나 그 중 일반적인 원인들로는 온도, 콘크리트의 크리프 및 건조수축과 하중에 의한 영향이 있다. 다음은 이러한 원인으로 부터 발생하는 교량 받침의 수평 변위량을 예측하기 위한 식들을 나타내었다.

1) 가동받침의 이동량(계산이동량) 산정식

$$\Delta l = \Delta l_t + \Delta l_s + \Delta l_c + \Delta l_r$$

여기서, Δl : 이동 계산량(mm)

Δl_t : 온도변화에 의한 이동량(mm)

Δl_s : 콘크리트 건조수축에 의한 이동량(mm)

Δl_c : 콘크리트 크리프에 의한 이동량(mm)

Δl_r : 활하중에 의한 이동량(mm)

2) 온도변화에 의한 이동량

$$\Delta l_t = \Delta T \times \alpha \times l$$

3) 건조수축에 의한 이동량

$$\Delta l_s = -20 \times \alpha \times l \times \beta$$

(표 4) 재령에 따른 건조수축 및 크리프저감계수

| 콘크리트 재령(월) | 건조수축 및 크리프저감계수(β) |
|------------|---------------------------|
| 0.25 | 0.8 |
| 0.5 | 0.7 |
| 1 | 0.6 |
| 3 | 0.4 |
| 6 | 0.3 |
| 12 | 0.2 |
| 24 | 0.1 |

4) 크리프에 의한 이동량

$$\Delta l_c = -\frac{P_i}{E_c A_c} \times \varphi \times l \times \beta$$

5) 활하중에 의한 이동량

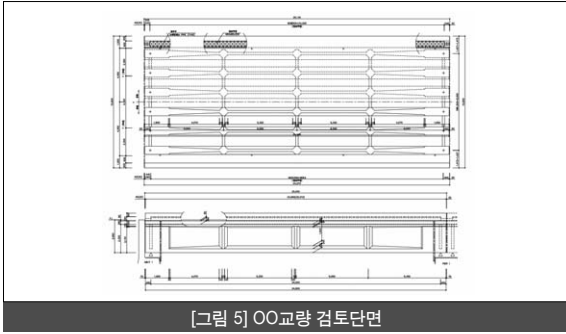
$$\Delta l_r = \text{거더의 높이} \times \frac{2}{3} \times \frac{1}{300}$$

상기의 식들로부터 받침 설치시기와 받침 거치 후 변위량을 예측하여 보수함으로써 공용 시 하자 발생률을 더욱 감소시킬 수 있다.

5. 교량받침 소요 이동 변위량 산정 예시

앞서 서술된 이동량 검토식으로부터 일반적인 PSC거더교(L=24m)에 스페리칼 받침을 사용할 경우에 대하여 거더 거치시기 별로 교량받침의 수평방향 소요 이동 변위량을 산정함으로써 보수범위를 확인하였다.

5-1. 검토단면



5-2. 검토조건

- 1) 교량형식 : PSC 거더교, 단순지지형식
- 2) 받침종류 : 스페리칼 받침(Spherical Bearing)
- 3) 지간(L) : 24.0m
- 4) 교폭(B) : 10.9m
- 5) 거더높이(H) : 2.6m
- 6) 프리스트레스 하중(P) : 544,870 kgf

5-3. 교량받침의 이동 변위량

본 예에서는 시공이 완료된 교량에서 소요변위량을 산정한 것으로 설계기준에서 제시한 설치여유량과 부가여유량은 무시하였다. 콘크리트 건조수축 및 크리프에 의한 변형은 회복이 불가능한 이동 변위이고 온도변화에 의한 신축량과 활하중에 의한 보의 처짐량은 회복이 가능한 변위량이다. 따라서 다음과 같이 각각의 이동량을 산정하여 합함으로써 향후 발생하는 소오이동 변위량을 산정할 수 있다.

1) 온도변화에 의한 이동 변위량

$$\Delta l_t = \Delta T \times \alpha \times l = -4.8 \sim +9.6\text{mm}$$

〈표 5〉 월별 평균기온 온도 변화에 따른 이동 변위량

| 거치시기 | 12월-2월 | 3월-5월 | 6월-8월 | 9월-11월 |
|---------|---------|------------------|----------|------------------|
| 평균 기온 | -5~0 °C | 0~15 °C | 15~35 °C | 0~15 °C |
| 이동량(mm) | (+)9.6 | (-)4.8 (+)8.4 | (-)9.6 | (-)4.8 (+)8.4 |

※(+)는 팽창량, (-)는 수축량을 의미함.

2) 건조수축에 의한 이동 변위량

$$\begin{aligned} \Delta l_s &= -20 \times \alpha \times l \times \beta \\ &= -20 \times 1.0 \times 10^{-5} \times 24\text{m} \times 0.5 = -2.4\text{mm} \end{aligned}$$

3) 크리프에 의한 이동 변위량

$$\begin{aligned} \Delta l_c &= -\frac{P_i}{E_c A_c} \times \varphi \times l \times \beta \\ &= -\frac{544,870 \text{ kgf}}{270,000 \text{ kgf/cm}^2 \times 8,479\text{cm}^2} \times 2.0 \times 24 \text{ m} \times 0.5 \\ &= -5.7 \text{ mm} \end{aligned}$$

4) 활하중에 의한 보의 처짐에 의한 이동 변위량

$$\begin{aligned} \Delta l_r &= H \times \frac{2}{3} \times \frac{1}{300} \\ &= 2.6\text{m} \times \frac{2}{3} \times \frac{1}{300} = 5.7\text{mm} \end{aligned}$$

즉, 받침의 소요 이동 변위량을 거더 거치 시기별로 정리하면 다음 〈표 6〉과 같다.

〈표 6〉 PSC거더 받침의 소요이동 변위량(mm)

| 구분 | 12월-2월 | 3월-5월 | 6월-8월 | 9월-11월 |
|----------|---------|-------------------|----------|-------------------|
| 평균 기온 | -5~0 °C | 0~15 °C | 15~35 °C | 0~15 °C |
| 온도변화 | (+)9.6 | (-)4.8 (+)8.4 | (-)9.6 | (-)4.8 (+)8.4 |
| 크리프 건조수축 | (-)8.1 | (-)8.1 | (-)8.1 | (-)8.1 |
| 활하중 | (+)5.7 | (+)5.7 | (+)5.7 | (+)5.7 |
| 소오이동 변위량 | (+)15.3 | (-)4.8 (+)14.1 | (-)9.6 | (-)4.8 (+)14.1 |

위와 같이 향후 발생할 수 있는 이동 변위량(온도, 크리프 및 건조수축, 활하중)을 산정하여 받침의 보수여부를 판단할 수 있다. 크리프 및 건조수축의 영향은 회복이 불가능하므로 기 시공된 교량에서는 변형이 완료된 것으로 가정하면, 향후 발생 가능한 받침의 이동량은 신장 (+)15.3mm, 수축(-)9.6mm이며, 이를 확보하지 못할 경우에는 받침을 보수하여야 한다. 일반적으로 받침은 거더 시공 완료 후 설계여유량(설계치)을 확보하여야 하지만 하자 발생시나 부득이한 경우, 위와 같은 방법으로 향후 발생할 이동 변위량을 산정하여 받침 보정기준을 제공할 수 있다.

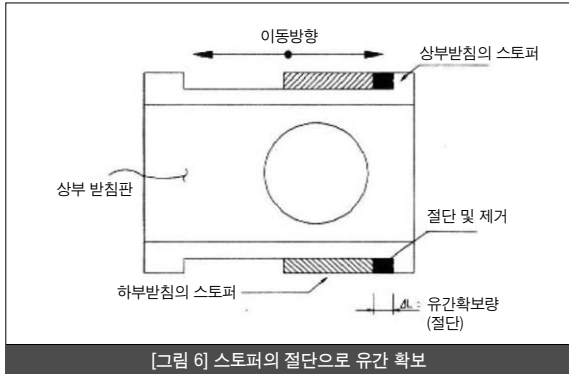
6. 보수방안

교량받침의 하자검증기준에 따라 필요 여유량(회전 및 이동량)을 확보하지 못 할 경우에는 받침을 보수하여 이를 확보하도록 한다.

6-1. 편심 받침의 보수

1) 스토퍼의 절단

스토퍼의 절단으로 유간을 확보하여 추가적인 하중이 전달되지 않도록 한다.



[그림 6] 스토퍼의 절단으로 유간 확보

이 방법은 비교적 시공이 단순하지만 남은 스토퍼의 강성을 확인하고, 받침장치에 영향이 가지 않는 범위에서 적용해야 하며, 용접이나 보수로 인해 원래의 받침과 신축장이음장치 등과 같은 기타 구조물에도 영향을 주지 않는지를 먼저 확인해야 한다.

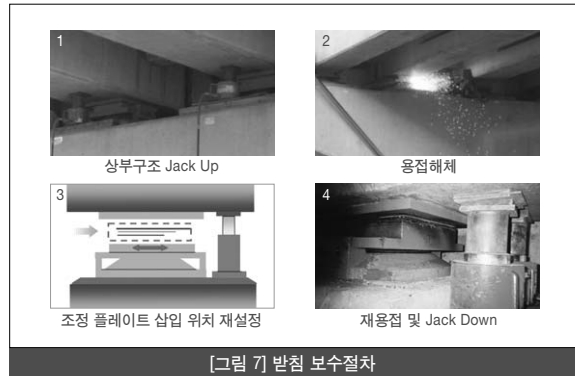
2) 탈거를 통한 받침 위치의 재설정

상부받침의 이동위치에 수직보강재를 설치하고, 상부받침 해체 후 유간에 맞춰 재설치하는 방법으로, 보수 후 받침 성능 발휘는 확실하지만, 공정이 복잡하고 받침의 연단거리를 확보하지 못할 우려가 있다.

6-2. 편기 받침의 보수

1) 거더 상향 후 구배 조정 플레이트 적용

편기량이 크지 않을 경우에 적용되는 가장 일반적인 보수방안이며, 상부구조를 일시적으로 들어 올린 상태에서 받침 상부를 해체하고 구배 조정 플레이트를 삽입하여 기울어짐을 조정하는 방법이다. 구배 조정 플레이트는 얇은 판으로 구성되어 있으므로 거더를 인상해야 하는 높이가 낮아도 될 경우에 적합하며, 상·하부받침의 철거가 불필요하므로 작업 공정이 간단하다. 그러나 보수 후 인접받침과 단차가 발생하여 신축이음장치와 같은 받침 이외의 부재나, 상부구조물에 영향을 초래할 수 있다.



[그림 7] 받침 보수절차

2) 하부받침 철거 후 구배 조정 플레이트 적용

하부받침장치 철거 후 구배조정 Plate를 설치하는 방안으로, 인접 받침에 영향을 주지 않는다. 하부받침 철거 시 받침의 기존 앵커볼트 사용이 불가하여 L형 앵커볼트 제작 후 주철근에 용접해야 하며, 공정이 비교적 복잡하고 교대(교각)부에 추가적인 하자가 발생할 우려가 있다.

7. 맺음말

본 기고에서는 일반적으로 사용되는 PSC거더교 받침의 종류와 하자 및 그 원인에 대하여 살펴보았다.

받침부 설계 시에는 보통 시공시점과 관련된 시간적 요인을 반영하지 않기 때문에 현장에서는 단순히 받침 상하부의 중심선을 일치시켜 설치하게 된다. 실질적으로는 거더별 거처되는 시기가 달라서 추후 발생하는 추가적인 하중이나 시간차로 인한 변형은 또 다른 오차나 하자를 발생시키는 요인이 되기도 한다. 따라서 변위 발생량을 예측하여 보수여부를 판단하고, 받침의 보수가 필요한 경우, 추정된 값을 참조함으로써 교량의 제기능을 발휘하며, 원공시 계획 형상으로 보정할 수 있다. 실제로 시공시간에 따른 수평변위량을 기간 L=24m으로 구성되는 PSC거더교에 적용해 보고, 일반적으로 실시하는 하자보수방안에 대하여 소개하였다. PSC거더의 거처시 받침의 중심을 완벽히 일치하여 시공하는 것은 매우 정밀한 기술을 요하며, 실제로 하자 발생의 사례가 빈번하다. 이에 본 기고는 PSC거더의 제작시기를 고려한 받침 보수의 필요 여부를 판단하는 방법을 제시하였으며, 이는 교량받침의 시공 또는 유지관리의 참고사항으로 유용한 자료가 될 것이다. S

참고문헌

PSC 교량의 안전성평가 및 보강기법 연구, 2002, 건설기술연구원