

KR C-10070

Rev.0, 5. December 2012

T형교

2012. 12. 5



한국철도시설공단

경 과 조 치

이 “철도설계지침 및 편람” 이전에 이미 시행 중에 있는 설계용역이나 건설공사에 대하여는 발주기관의 장이 인정하는 경우 종전에 적용하고 있는 우리공단 “철도설계지침 및 편람”을 그대로 사용할 수 있습니다.

일 러 두 기

- 사용자의 이용 편의를 위하여 책 단위로 구성된 “철도설계지침” 및 “편람”을 국제적인 방식에 맞게 체계를 코드별로 변경하였습니다.
또한, 코드에 대한 해설 및 목차역할을 하는 KR CODE 2012, 각 코드별로 기준 변경사항을 파악할 수 있도록 Review Chart 및 Record History를 제정하였습니다.
- 이번 개정된 “철도설계지침 및 편람”은 개정 소요가 발생할 때마다 각 항목별로 수정되어 공단 EPMS, CPMS에 게시될 것이니 설계적용 시 최신판을 확인 바랍니다.
- “철도설계지침 및 편람”에서 지침에 해당하는 본문은 설계 시 준수해야 하는 부분이고, 해설(이전 편람) 부분은 설계용역 업무수행의 편의를 제공하기 위해 작성한 참고용 기술도서입니다. 여기서, 제목 부분의 편람은 각 코드에서의 해설을 충칭한 것입니다.

목 차

| | |
|------------------------------------|--------|
| 1. 용어의 정의 | 1 |
| 2. 일반사항 | 2 |
| 3. T형교 설계일반 | 2 |
| 4. 구조해석 | 2 |
| 5. 구조상세 | 3 |
| 해설 1. PSC 합성거더교 | 5 |
| 1. 설계일반 | 5 |
| 1.1 설계일반 | 6 |
| 1.2 구조해석 | 6 |
| 1.3 각 설계 단계별 주요 고려사항 | 6 |
| 2. 설계흐름도 | 9 |
| 3. 단계별 고려사항 | 12 |
| 3.1 [단계1] 설계조건 | 12 |
| 3.2 [단계 2] 단면가정 | 14 |
| 3.3 [단계 3] 바닥판 설계 : 강도설계법 적용 | 14 |
| 3.4 [단계 4] PSC 거더 설계 | 16 |
| 3.5 [단계 5] 가로보 설계 | 20 |
| 3.6 [단계 6] 탄소성 수축량 및 신축량 검토 | 21 |
| 해설 2. PSC U형 합성거더교 | 22 |
| 1. 설계일반 | 22 |
| 2. 종방향 및 횡방향 구조해석 | 24 |
| 2.1 구조해석 | 24 |
| 2.2 설계고려사항 | 25 |
| 2.3 PSC U형 거더교의 가설공법 | 28 |
| 2.4 설계하중 | 36 |
| 2.5 설계법 및 안전율 | 36 |
| 2.6 프리스트레스의 손실 | 37 |
| 2.7 단면 설계 | 37 |
| 3. 설계흐름도 | 38 |
| RECORD HISTORY | 43 |

1. 용어의 정의

- (1) 바닥판 : 도상이나 침목, 레일 등을 통해 열차하중을 지지하고 다른 부재들에 의해 지지되는 판 부재.
- (2) 부모멘트 : 바닥판 및 부재 상측에 인장응력을 생기게 하는 휨모멘트.
- (3) 사용하중 : 하중계수를 곱하지 않는 하중으로서, 작용하중이라고도 함.
- (4) 설계하중 : 부재를 설계할 때 사용되는 적용가능한 모든 하중과 힘, 또는 이와 관련된 내적 모멘트와 힘으로서, 허용응력설계법에 의한 설계에서는 하중계수가 없는 하중(사용하중)이고, 강도설계법에 의한 설계에서는 적절한 하중계수를 곱한 하중(계수하중)이 설계하중.
- (5) 유효폭 : T형보의 플랜지 등에서 유효하게 작용한다고 보는 플랜지 등의 폭.
- (6) 정모멘트 : 바닥판 및 부재 하측에 인장응력을 생기게 하는 휨모멘트.
- (7) 정착장치 : 포스트텐션방식에 의한 프리스트레스트 콘크리트에서 인장력을 준 PS강재를 경화한 콘크리트에 고정시키기 위한 장치.
- (8) 주철근 : 철근콘크리트 부재의 설계에서 하중작용에 의해 생긴 단면력에 대하여 소요단면적을 산출한 철근.
- (9) 축방향철근 : 부재축 방향으로 배치하는 철근.
- (10) 콘크리트의 건조수축 : 콘크리트의 건조 또는 수화반응에 의해 시간 경과에 따라 발생하는 수축 변형.
- (11) 콘크리트의 크리프 : 콘크리트에 일정한 응력이 장기 지속적으로 작용하는 상태에서 시간의 경과와 더불어 변형이 증가하는 현상.
- (12) 콘크리트의 탄성수축(elastic shortening) : 축방향 압축력에 의해 부재가 수축되는 현상.
- (13) 콘크리트 피복두께 단면(concrete covering area of section) : 단면외곽선과 PS강재에서 PS강재의 최소 피복두께(c) 만큼 떨어진 휨 축에 평행한 두 직선으로 이루어진 단면.
- (14) 포스트텐션 방식 : 콘크리트와 부착하지 않도록 쉬스를 통하여 배치한 PS강재를 콘크리트가 굳은 다음에 긴장시켜 프리스트레스트를 주는 방식.
- (15) 프리스트레스트 : 외력의 작용에 의한 인장응력을 상쇄할 목적으로 미리 계획적으로 콘크리트에 준 응력.
- (16) 프리스트레스트 힘 : 프리스트레싱에 의하여 부재의 단면에 작용하고 있는 힘.
- (17) 프리스트레스트 힘의 전달(prestress transfer) : 정착단면으로부터 일반단면으로 프리스트레스트 힘이 전달되면서 단면 내에서의 응력분포곡선은 비연속 분포로부터 점차적으로 선형 연속 분포로 바뀌게 되는데 이 과정에서 단면 내에 수직응력(f)과 전단응력(τ)이 발생하는 3차원적인 현상.



(18) 프리스트레싱 : 프리스트레스를 주는 일.

(19) 피복두께 : 철근, PS강재 또는 쉬스의 표면에서 콘크리트 표면까지의 최단거리.

2. 일반사항

(1) 이 지침은 단면이 T형인 철근콘크리트 및 프리스트레스트 콘크리트 주거더로 구성되고, 가로보에 의하여 하중이 분배되는 형식의 철도교량에 적용된다. T형의 주거더로 구성된 연속거더교, 라멘교 및 프리캐스트보와 현장치기 콘크리트 슬래브가 일체로 된 합성거더교의 설계에 관하여는 각각 「KR C-10080, 10090, 10100」의 규정에 따르는 것으로 한다.

(2) 기호

α, β = 주거더의 단면력 계산시 거더의 형태에 따라 곱하는 계수(<표 1> 참조)

b = 바닥판의 현장타설 부분의 폭

3. T형교 설계일반

(1) T형 거더교는 주거더의 부등처짐이나 비틀림변형이 바닥판, 받침의 구조에 나쁜 영향을 줄 수 있으므로 주거더 직각방향의 강성을 높이기 위하여 가로보를 두어야 한다. 사각이 45° 이상인 경우에는 가로보를 주거더의 직각방향으로 두지만 이때 비틀림변형에 대한 충분한 검토를 해야 하며, 사각이 45° 미만인 경우에는 가로보를 받침선에 평행하게 설치해도 좋다.

(2) 중간 가로보의 설치는 1경간에 1개소 이상 또는 15m 이하의 간격으로 설치해야 한다.

4. 구조해석

(1) 거더의 단면력은 격자 구조이론에 의하여 계산해야 한다. 다만 직교로서 바닥판의 지간이 짧고 판구조로 볼 수 있을 때에는 직교이방성 판 이론에 따라 단면력을 계산하여도 된다. 한편, 보도가 양측에 설치된 경우 캔틸레버 슬래브의 내민길이가 주거더 간격의 1/2 이하인 경우, 그리고 「3의 (1)항 및 (2)항」의 규정에 따라 가로보가 설치된 경우에는 다음의 방법에 따라 주거더의 단면력을 계산하여도 좋다. 고정하중은 전체 고정하중에 의한 단면력을 주거더의 개수로 나눈 값을 주거더의 단면력으로 해야 한다. 열차하중은 바닥판의 폭에 주재하중을 만재시켜서 구한 단면력을 주거더의 개수로 나눈 값으로 하는데 이형(耳형) 계수 α , 그 밖의 형태의 거더에는 β 를 곱하여 주거더의 단면력으로 하여도 좋다.(<표 1> 참조)

표 1. 계수 α 및 β 의 값

| 바닥판의 폭(m) | α | β |
|-----------|----------|---------|
| 5.5m 이상 | 1.1 | 0.95 |
| 5.5m 미만 | 1.0 | 1.0 |

- (2) 격자구조이론에 의하여 단면력을 계산할 때에는 주거더 및 가로보의 비틀림강성을 무시하여도 좋다. 그러나 사각이 30°이상인 사교의 경우에는 비틀림의 영향이 크게 나타나므로 비틀림강성을 고려한 격자구조이론에 의하여 해석을 수행하고 비틀림에 대하여 검토를 해야 한다. 또, 단면력을 계산할 때에 가로보 플랜지의 유효폭은 전단면이 유효한 것으로 보며, 응력계산을 할 때에 가로보 플랜지의 유효폭은 시방서의 플랜지 유효폭에 대한 별도규정에 따라야 한다.

5. 구조상세

- (1) 가로보의 보강은 프리스트레스트 콘크리트 T형거더교의 경우는 PS강재를 배치하여 횡방향으로 연결하고, 철근콘크리트 T형거더교의 경우는 축방향철근을 배치해야 한다.

① 프리스트레스트 콘크리트 T형거더교

가. 프리스트레스트 주거더를 횡방향으로 일체가 되도록 하는 것이므로 가로보의 보강은 횡방향으로 해야 한다. 사교에서 프리스트레스트 주거더와 가로보가 이루는 각도가 90°부터 55°까지의 범위에는 주거더와 가로보의 이음면에 칩핑(chipping) 등의 처리를 해야 하고, 그 각도가 55°에서 45° 까지인 경우에는 이음면을 가로보의 축선에 직각이 되게 또는 적절한 방법의 맞물림을 두어야 한다.

나. 횡방향으로 연결하는 PS강재를 정착하는 경우에는 주거더에 홈 또는 돌기를 두고 정착면을 PS강재에 대하여 수직으로 두어야 한다. 다만 PS강재와 정착면이 이루는 각도가 70°를 넘는 경우에는 정착장치의 미끄럼 등에 대하여 안전성을 확인한 뒤에 이형 앵커 플레이트 등을 사용하는 것이 좋다.

② 철근콘크리트 T형거더교

가. 직선교에서 주거더의 간격이 2m 정도 이하가 되는 철근콘크리트 T형거더교의 가로보에 배치되는 철근은 <표 2>에 보인 철근량을 <그림 1>에 보인 것과 같이 배치하는 것이 좋다.

표 2. 가로보의 인장 철근량

| 고속철도교량의 폭(m) | 철근 지름(mm) | 철근의 개수 |
|--------------|-----------|--------|
| 7m 미만 | 25 | 2 |
| 7m 이상 9m 미만 | 25 | 3 |
| 9m 이상 12m 이하 | 25 | 4 |

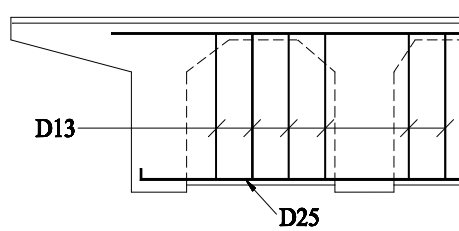
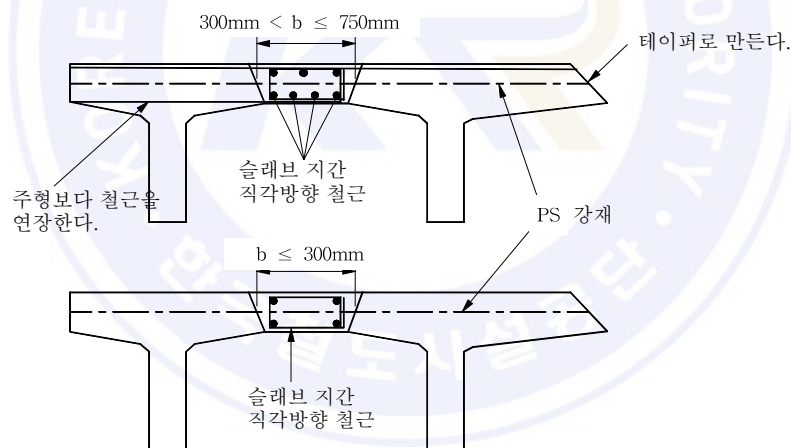


그림 1. 가로보의 배근(철근콘크리트 T형거더교)

나. 주거더 간격이 2m를 넘는 경우, 또는 사교, 곡선교 등의 특수한 경우에 있어 T형 거더교의 가로보에 배치하는 철근량은 <표 2>에 따르지 않고 격자구조이론에 따라 단면력을 계산해야 한다.

(2) 프리스트레스트 콘크리트 T형거더교의 바닥판에는 횡방향 PS강재를 두어야 한다. 한편, 현장치기로 시공되는 바닥판의 폭은 일반적으로 750mm 이하이며, 프리캐스트 보의 플랜지로부터 겹침이음길이 이상 내민 철근에 의하여 결합하는 것이 좋다. 그러나, 횡방향으로 연결되는 PS강재가 배치된 바닥판이 현장치기로 시공될 때 그 폭이 300mm 이하인 경우 철근을 내밀지 않아도 좋다.

(3) 바닥판을 현장치기로 시공할 경우 그 폭은 750mm 이하로 해야 한다.



여기서, b : 바닥판의 현장치기 부분의 폭

그림 2. 바닥판을 현장치기하는 경우의 구조상세

해설 1. PSC 합성거더교

1. 설계일반

콘크리트는 압축에 강한 반면에 인장에 약한 재료적인 특성을 갖고 있어서 이를 보완 하는 방안으로서 콘크리트에 프리스트레스 힘을 가하는 방법이 사용되고 있다. 콘크리트에 프리스트레스를 가하는 방법은 강선, 텐던 또는 강봉을 인장 정착시킴으로써 콘크리트에 압축응력을 도입하는 방법과 미리 구부려 놓은 강재를 강제로 편 상태에서 콘크리트를 타설 양생한 후 구속을 풀어줌으로써 콘크리트에 압축응력을 도입하는 방법이 있다.

철도교 위로 열차를 통과시키기 위하여는 이러한 거더 위에 철근콘크리트(RC) 바닥판을 설치하여야 한다. 철근콘크리트 바닥판의 주 기능은 열차하중을 주거더에 전달하는 것이지만 철근콘크리트 바닥판 역시 구조체이므로 주거더와 일체로 작용하도록 하여 주거더의 기능을 일부 분담할 수 있도록 하면 보다 경제적인 교량의 건설이 가능한데 이러한 형식의 교량을 합성거더교라 한다.

합성거더교에서 가장 중요한 것은 완전한 합성작용(Composite action)을 확보하는 것이다. 즉, 휨전단(flexural shear)은 주거더와 철근콘크리트 바닥판의 접합면을 따라 수평활동을 일으키는 원인이 되는데 주거더와 철근콘크리트 바닥판 사이에 전단연결재 등을 설치함으로써 이 수평활동에 충분히 저항할 수 있는 구조로 하여야 한다.

주거더와 철근콘크리트 바닥판의 접합면을 따라 수평활동을 일으키는 원인은 휨전단에 의한 역학적인 요인 이외에도 철근콘크리트 바닥판과 주거더 하면의 온도차이, 바닥판과 주거더의 강도차이 및 콘크리트 재령차에 의한 크리프, 건조수축의 영향 등을 들 수 있다. 일반적으로 주거더와 철근콘크리트 바닥판의 접합면에 작용하는 수평하중의 크기는 휨전단 등의 역학적인 요인에 의한 값보다는 온도차 및 콘크리트의 재령차에 의한 비역학적 요인에 의한 값이 크게 나타나므로 이에 대한 면밀한 검토가 요구된다.

일반적으로 합성거더교는 다음과 같은 특징을 갖는다.

- 주거더는 작업여건이 좋은 제작장에서 생산되므로 비교적 높고 균일한 품질의 시공이 가능하다.
- 현장에서 거푸집과 비계공을 크게 줄일 수 있다.
- 현장작업이 간단하여 공사기간을 단축할 수 있다.
- 현장치기 철근콘크리트 바닥판은 주거더에 비하여 그렇게 높은 품질의 것이 아니라도 좋다. 실제로 주거더에 사용되는 콘크리트의 압축강도는 35MPa 이상의 품질이 사용되고 있으며, 철근콘크리트 바닥판에 사용되는 콘크리트의 압축강도는 27MPa 내외의 것이 사용되고 있다.



1.1 설계일반

- (1) PSC 합성거더교 전반에 걸친 일반적인 설계관련사항은 [철도설계지침]을 참고하도록 한다.
- (2) PSC 합성거더교는 주로 경간장이 짧고 길이가 긴 교량에서 적용되는 형식이다. 보통 적용되는 거더의 길이는 20~25m 정도이며, 이 길이가 크레인 등을 이용하여 인장 및 조립하는데 가장 용이하고, 과다한 모멘트를 받지 않는다. 국내에서 쓰이는 일반적인 PSC 합성거더는 20m, 25m의 길이를 갖는 프리캐스트 거더이다.
- (3) 일반적으로 PSC 합성거더 형식의 교량은 프리캐스트의 PSC 거더를 가설장소에 운반하여 전단연결재 등으로 현장치기 바닥판과 합성시켜서 거더와 바닥판이 일체작용을 하도록 하는 방법이다.
- (4) PSC 합성거더는 최근에도 사용빈도가 높은 거더로서 그 이유는 다음과 같다.
 - ① 이동가설이 가능하기 때문에 거더 밑의 교통장애나 유수 저해가 적다. 다만, 크레인에 의한 가설의 경우는 크레인의 설치 Space나 지반조건도 고려할 필요가 있다.
 - ② 거더의 제작과 하부공(교각, 교대 등)의 시공을 병행하는 것이 가능하기 때문에 공기의 단축이 가능하다.
 - ③ 주거더는 모두 동일한 형상의 것을 필요수만큼 제작하기 때문에 거푸집의 전용이 가능하다.

1.2 구조해석

PSC 합성거더의 해석은 격자해석 또는 판이론에 의한다. 격자는 주거더와 가로보를 대상으로 구성한다. 판이론은 Guyon & Massonnet이 제안한 하중 횡분배 이론을 적용하여 단면력을 산출한다. 충격계수는 Span에 대한 값을 사용한다.

1.3 각 설계 단계별 주요 고려사항

1.3.1 주거더의 높이

교량의 설계에 대해 최근 중요한 항목은 거더의 높이이다. 거더높이는 Prestress 직후의 자중 작용시와 유효 Prestress가 적용된 설계하중 작용시의 2차상태에서 결정되는 경우가 많다. 즉, Prestress 도입직후에는 자중이외는 작용되지 않기 때문에 I형 거더의 상연이 인장상태이고 하면이 압축상태가 된다. 어느 쪽이는 허용응력을 만족해야 한다. 또한 콘크리트의 크리프, 건조수축, PS강재의 릴렉세이션을 고려한 유효 Prestress가 작용된 상태에서 설계하중을 작용하면 하연은 인장상태가 되고 상연은 압축상태가 된다. 이러한 2차상태의 경우에 압축 및 인장 허용응력을 만족시켜야 된다.

다만, 현재 철도교에서 적용되고 있는 PSC 거더 단면은 가급적 인장응력이 발생하지 않도록 설계하고 있다. 철도교의 특성상, 열차활하중이 피로가 문제가 될 정도로 반복 재하하므로 공용기간내에 안정성을 확보하기 위해 균열이 전혀 없는 상태를

유지하도록 인장응력을 허용하지 않고 있기 때문이다.

이러한 검토에 의해서 주거더의 높이는 결정되나, 사용하는 콘크리트의 설계기준강도, 상·하부 플랜지 폭과 두께를 변화시킴으로써 주거더의 높이를 낮출 수도 있다.

1.3.2 주거더 본수

주거더 본수는 단선의 경우 2~4본, 복선의 경우 4~9본이 일반적으로 사용되고 있다. 주거더 본수를 많게 하고 주거더의 높이를 줄일 수 있으며, 주거더 1본당 중량도 가볍게 되지만 교량 전체의 중량은 증가하게 되어 공사비는 커지는 경우가 많다.

따라서 거더높이를 작게한 경우나 주거더의 1본당 중량을 가볍게 한 경우 이외는 주거더 본수를 적게하는 편이 경제적인 경우가 많다.

1.3.3 복부판

복부판의 두께는 주거더의 중량에 큰 영향을 끼치므로 가능한 한 얇게 하는 편이 좋다. 일반적으로 철근이나 쉬스관, 바이브레이타용 공간을 고려하여 250mm 이상으로 한다. 또한 지점부근에는 전단보강 철근이 많이 필요하므로 복부판을 광폭으로 하는 경우가 많다. PS강재를 단부에 2열로 정착한 경우에도 PS강재의 배치상 복부판을 광폭으로 할 필요가 있다.

1.3.4 상부 플랜지

상부 플랜지는 단면의 중립축을 상승시키고 PS강재의 편심량을 크게 하므로 Prestress를 유효하게 해주는 중요한 역할을 하고 있다. 일반적으로 설계하중 작용시의 콘크리트의 압축응력이 허용치를 초과하는 경우는 플랜지의 크기가 더욱 크게 되므로 콘크리트의 설계기준강도를 크게 할 필요가 있다. 두께는 선단부에도 열차를 지지하는 경우가 있으므로 200mm 이상을 권고한다.

1.3.5 하부 플랜지

하부 플랜지의 치수는 필요한 PS강재 배치에 소요되는 공간을 확보할 수 있도록 정한다. 또한 Prestress 도입직후의 압축응력이 허용치에 들도록 하여야 한다. 한편 충분히 큰 바이브레이터가 들어갈 수 있어야 콘크리트의 다짐이 용이하다. 따라서 이러한 점을 고려하여 하부 플랜지 폭은 600~1,000mm 정도가 추천되고 있다.

1.3.6 PS강재의 정착

PS강재의 정착은 종래부터 상연 정착과 단부정착의 2가지 방법이 범용되어 왔다. 그러나 최근 상연 정착부에서 물의 침입에 의해 PS강재의 부식이 발견되어 보다 안전한 단부정착법에 의한 설계가 많아지고 있다.

1.3.7 쉬스와 쉬스 두부

쉬스지름은 단선 PS강선의 경우는 정착구 부근과 Span 부분에 동일한 지름을 사용하지만, PS강연선의 경우는 정착단 부근에 큰 지름을 사용하고 있다. 단면지름이 12×12.7mm의 PS강연선의 경우 Span부분은 쉬스지름 65mm, 정착단부의 1.5m 구간에서는 지



름 70~75mm의 쉬스를 사용하고 있다. PS강선을 쉬스배치 후 삽입하는 경우에는 약 5mm정도 더 큰 지름의 쉬스를 사용하는 것이 좋다.

쉬스 두부에 대해서는 Prestress의 직각방향에 발생하는 포아슨 효과나 물의 동결에 의한 쉬스내 내압 등에 대처하고 PS강재 두부가 부식되는 것을 막기위해 철근으로 감싸 줄 필요가 있다. 이를 위해 PS강재 두부에는 쉬스지름보다 크게 하고, 40mm 이상으로 하는 것을 원칙으로 한다.

1.3.8 배수기울기 콘크리트

PSC 합성거더는 콘크리트의 재령이나 Prestress에 의해 1본 각각의 크리프 변형 등이 다르기 때문에 교면의 최초부터 배수기울기들 두는 것이 어렵다. 전 주거더 가설후에 50~100mm의 배수기울기 콘크리트를 시공하는 것이 일반적이다.

1.3.9 구조상세

PSC 합성거더의 일반적인 구조상세는 다음과 같다.

- (1) 거더부재의 최소두께는 150mm 이상으로 한다.
- (2) 중간지간의 가로보는 1지간에 1개소 이상 15m 이하의 간격으로 설치한다.
- (3) 교축방향에는 계산상 필요하지 않은 경우에도 직경 10mm 이상의 철근을 300mm이하의 간격으로 배치한다.

1.3.10 가설을 위한 보강

I형 거더는 크레인이나 Erection Girder로 이동가설하는 것이 일반적이다. 그러나 I형 거더는 그 형태상 횡방향 강성이 작으므로 이동가설시에 우려되는 주거더의 기울어짐에 의해 매우 큰 횡방향 변화가 발생하고 거더의 파괴를 야기시키기도 한다. 따라서 상부 플랜지의 폭을 크게 하고 보강철근을 상부 플랜지의 선단부에 배치하는 것도 좋은 방법이다.

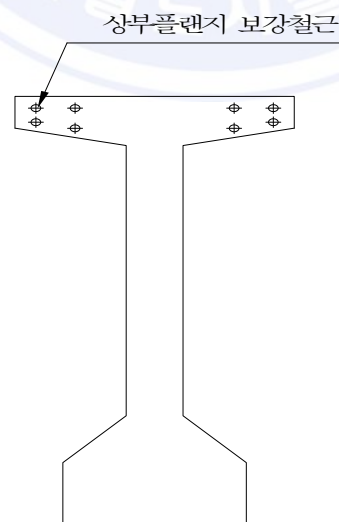


그림 3. 상부 플랜지 보강철근

게다가 가설시의 안전을 위해 이동가설 중에는 거더가 기울어지지 않도록 지지할 수 있는 설비를 충분히 갖출 필요가 있다. 가설방법도 충분한 주의를 기울여야 한다.

2. 설계흐름도

(1) 주설계 단계

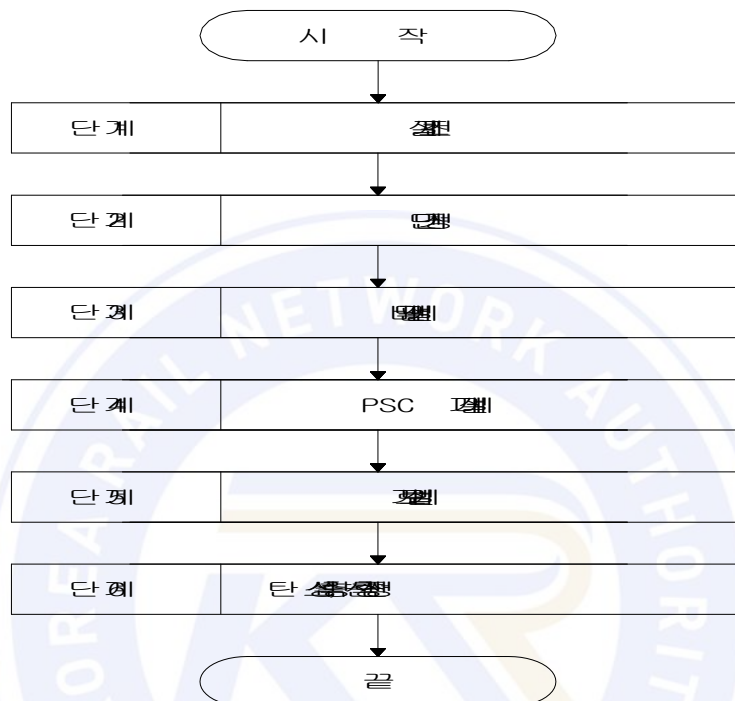


그림 4. 주 설계 흐름도

(2) [단계 1] 설계조건

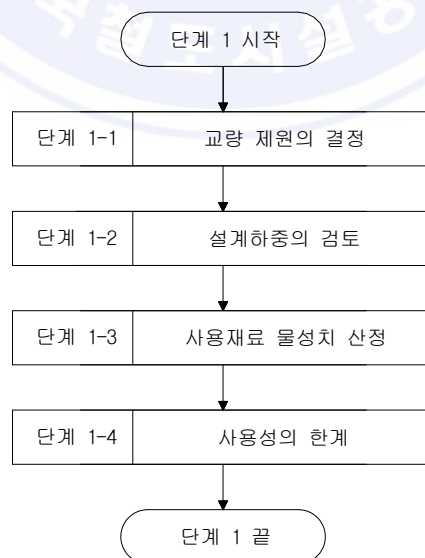


그림 5. 설계조건



(3) [단계 2] 단면가정

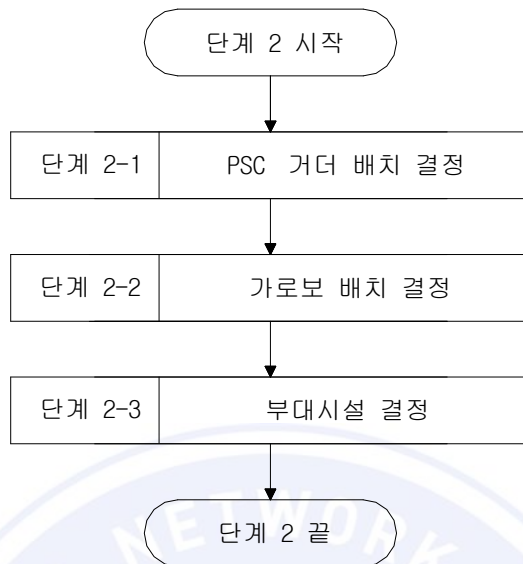


그림 6. 단면가정

(4) [단계 3] 바닥판의 설계

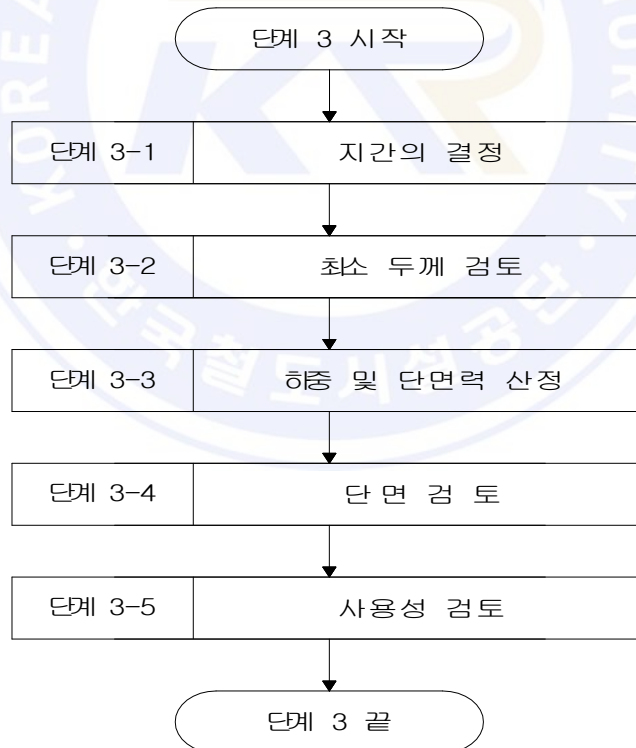


그림 7. 바닥판의 설계

(5) [단계 4] PSC 거더 설계

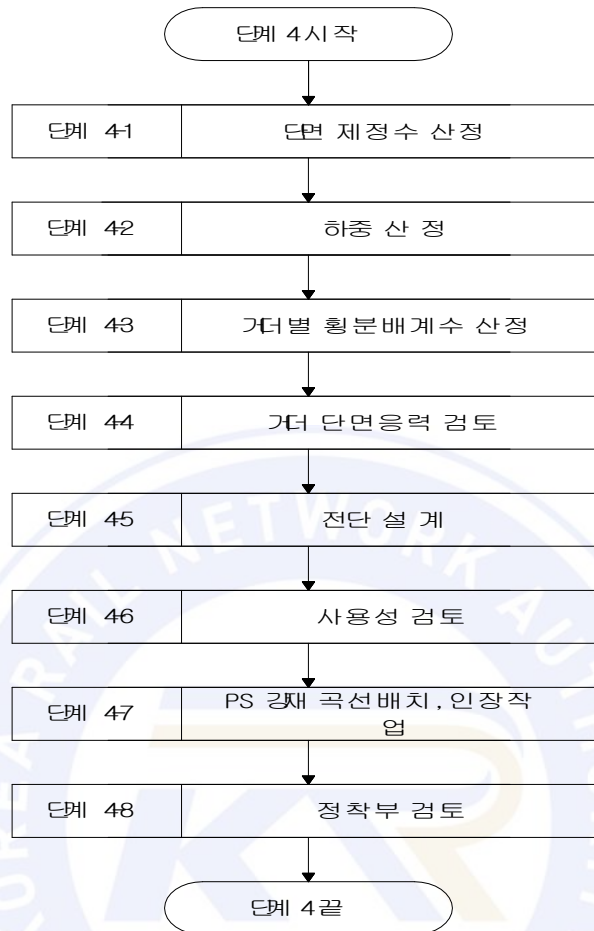


그림 8. PSC 거더 설계

(6) [단계 5] 가로보 설계

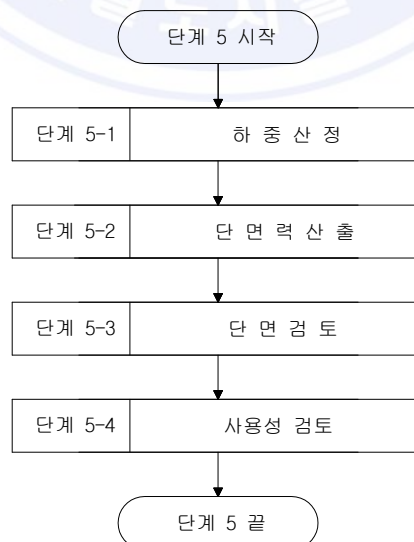


그림 9. 가로보 설계



(7) [단계 6] 탄소성 수축량 및 신축량

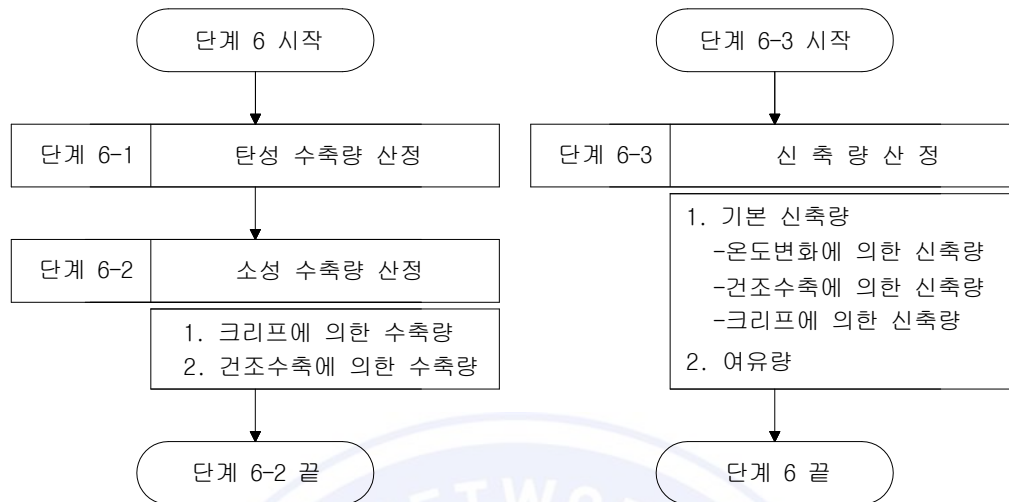


그림 10. 탄소성 수축량 및 신축량

3. 설계단계별 고려사항

3.1 [단계1] 설계조건

3.1.1 교량제원 결정

가설되는 교량에 요구되는 선로등급, 지간구성에 따른 교량의 제원을 파악하고 표준활하중을 적용하여 교량을 설계한다. 거더의 높이는 지간에 따른 적정한 높이를 선정하여야 하며, 시설한계에 지장이 없도록 결정하여야 한다.

3.1.2 설계하중

(1) 고정하중

궤도 및 도상, 방수, 보도, 바닥판 및 거더의 콘크리트 자중, 난간, 방음벽

(2) 활하중

LS-22 : 철도건설규칙에 정한 표준활하중 적용

(3) 풍하중

교량에 대하여 1방향으로 수평 및 직각으로 작용하는 것을 원칙으로 한다.

3.1.3 사용재료

[철도설계지침]에 따라 사용재료를 선택한다. PS용 콘크리트 부재는 설계나 시공상 압축강도가 높은 콘크리트를 요구하므로 30MPa 이상으로 제한한다. 단, 가로보의 현장치기 콘크리트 등에 대해서는 설계기준강도 24MPa 정도까지 허용할 수 있다. 설계계산에 사용되는 물리상수는 [철도설계지침]을 적용한다.

3.1.4 사용성의 한계

(1) 처짐제한

PSC 합성거더교는 고강도 재료가 사용되고 보다 정밀하게 시공되기 때문에 RC 교량보다 낫지만, 활하중에 대한 고정하중의 비가 낮아서 장시간이 될 수 있으므로 처짐에 주의해야 한다.

처짐검토를 위한 하중조합 및 기준은 「KR C-08070」를 따르도록 한다.

표 3. 연직처짐 검토를 위한 하중조합

| 주행안전성 | 표준열차하중 + 충격계수(복선이상 재하) |
|-------|---|
| 승차감 | 1. 표준열차하중 + 충격계수(단선재하) 2. 실 열차하중 속도별 동적재하(단선재하) 3. 승차감에 대한 연직변위는 위의 1.항과 2.항 중 불리한 값을 적용한다. |

주행안전성에 대한 연직처짐 검토는 충격계수가 고려된 표준열차하중이 가장 불리하게 재하된 상태(복선재하 포함)에서 다음 값으로 제한하여야 한다.

$$\frac{f}{L} \leq \frac{1}{600}$$

여기서, f : 교량 상판의 최대 처짐, L : 지간 길이

(2) 균열제어

특히 수밀성이 요구되거나 미관이 중요한 콘크리트 구조는 지속하중 대하여 계산한 휨균열폭이 「KR C-08060」에 나타난 허용균열폭 이하가 되도록 설계하여야 한다.

그 밖의 구조에 대해서는 다음과 같이 휨인장철근의 간격을 제한함으로써 균열을 제어하도록 하였다. 콘크리트 인장연단에 가장 가까이 배치되는 철근의 중심간격 s 는 다음 식에 의해 계산된 값 중에서 작은 값 이하로 한다[콘·설 6.3.3].

$$S = 375 \cdot \left(\frac{210}{f_s} \right) - 2.5 \cdot c_c$$

$$S = 300 \cdot \left(\frac{210}{f_s} \right)$$

여기서, c_c : 인장철근의 표면과 콘크리트 표면 사이의 콘크리트 최소피복두께(mm)

f_s : 사용하중 상태에서 인장연단에서 가장 가까이에 위치한 철근의 응력(MPa). 사용하중 휨모멘트에 대한 해석으로 결정하여야 하지만, 근사값으로 f_y 의 2/3를 사용할 수 있음.



3.2 [단계 2] 단면가정

- (1) 일반적으로 PSC 합성거더는 직선이므로 곡선평면상에 설치할 경우는 지간중앙부 캔틸레버 길이의 확장으로 인하여 외측 거더에 과대한 하중이 재하될 우려가 있으므로 이에 대한 충분한 검토가 필요하다.
- (2) 캔틸레버의 길이(외측 거더 중앙에서 바닥판 끝단까지의 거리)는 거더간 거리의 1/2 이하로 하는 것이 좋으며, 캔틸레버에 과대한 고정하중이나 특수하중이 재하될 경우에는 주거더의 충분한 검토가 필요하다.
- (3) 가능한 내·외측 거더의 응력이 비슷하게 될 수 있도록 단면계획의 충분한 검토가 필요하다.

3.3 [단계 3] 바닥판 설계 : 강도설계법 적용

3.3.1 중앙부 바닥판

고정하중 및 활하중에 대한 단면력을 구하여 계수모멘트를 산정하고 단면내력이 그 이상이 되도록 철근을 배근한다. 또한 배력철근도 고려해 주어야 한다.

- (1) 바닥판의 지간 : 단순판 및 연속판, 캔틸레버판에 작용하는 열차하중 및 고정하중에 대한 지간은 [철도설계지침]을 참고하여 결정한다.

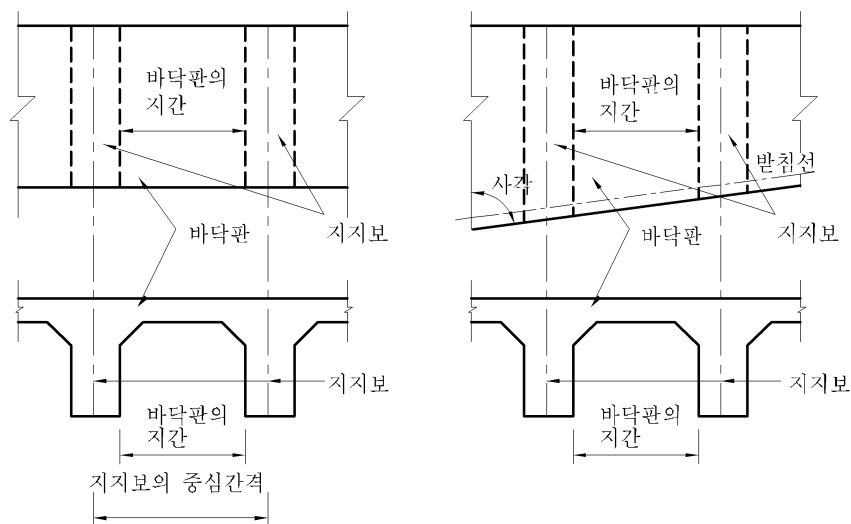


그림 11. 단순판 및 연속판의 지간

- (2) 바닥판의 최소두께 : 바닥판의 최소두께 규준은 바닥판을 철근콘크리트와 프리스트레스 콘크리트로 구분하여 궤도부분과 보도부분에 대해 [철도설계지침]에 제시되어 있으므로 이를 따른다.

표 4. 궤도부분 바닥판의 최소두께(mm)

| 바닥판 지간의 방향 바닥판의 구분 | | 궤도 진행방향에 직각 | 궤도 진행방향에 평행 |
|-----------------------|------------------|------------------------|------------------------|
| 단 순 판 | | $40 \cdot \ell + 110$ | $65 \cdot \ell + 130$ |
| 연 속 판 | | $30 \cdot \ell + 110$ | $50 \cdot \ell + 130$ |
| 캔틸레버판 | $\ell \leq 0.25$ | $280 \cdot \ell + 160$ | $240 \cdot \ell + 130$ |
| | $\ell > 0.25$ | $80 \cdot \ell + 210$ | |

(3) 바닥판의 설계휨모멘트 및 응력의 검사

- ① 진입부 바닥판 : 이상에서 제시된 간략설계식들을 지지되지 않은 단부 바닥판의 효과를 포함하고 있지 않다. 따라서 교량의 진입부 또는 경간 내부 바닥판의 연속성이 단절되는 곳의 바닥판은 격벽이나 다른 적절한 방법으로 지지를 시키는 것이 좋다. 이때 격벽은 활하중에 의해 발생하는 휨모멘트와 전단력을 지지할 수 있을 정도로 설계되어야 한다.
- ② 철근의 배근 : 집중 활하중을 횡방향으로 분포시키기 위하여 바닥판에는 주철근 방향에 직각으로 배력철근을 배치해야 한다.
- ③ 프리스트레스트에 의한 부정정 휨모멘트 : 연속 바닥판에 프리스트레스트를 도입하는 경우에는 프리스트레싱에 의해 생기는 부정정 휨모멘트를 고려해야 한다. 다만, 부정정 휨모멘트가 작게 일어나도록 PS강재를 배치하는 경우에는 이 부정정 휨모멘트를 무시할 수 있다.
- ④ 바닥판의 응력검사 : 바닥판의 응력은 전술한 규정에 따라 계산된 설계휨모멘트를 이용하여 산정하며, 설계휨모멘트의 방향과 강재의 배치방향이 다를 때에는 설계휨모멘트 방향에 대한 강재의 유효단면적을 사용하거나 또는 프리스트레스 힘의 분력을 이용하여 설계를 수행하여야 한다.

3.3.2 캔틸레버부 바닥판

중양부 바닥판과 마찬가지로 설계기준에서 제시하고 있는 지간 및 최소두께 규정을 고려하여야 한다. 바닥판에 대한 고정하중을 구하여 이에 대한 단면력을 구한다. 그리고 팔길이와 충격계수를 구하여 활하중에 대한 단면력을 구하고 단부와 그 외의 부분에 대해 하중계수를 고려하여 계수모멘트를 산정한다. 이 계수모멘트를 이용하여 캔틸레버판의 단부 및 일반부에 대해 소요철근량을 산정하고 배근한다.

캔틸레버판에 방음벽이 설치될 경우에는 이들 하중을 포함한 설계하중에 대해 캔틸레버의 위험단면 및 지지부 단면도 검토하여야 한다.



3.4 [단계 4] PSC 거더 설계

3.4.1 거더의 단면계수 산정

응력 및 강도의 계산에 사용되는 설계상수를 구하기 위한 단면의 제원을 구한다. PSC 합성거더교의 경우는 여러 가지 하중단계를 가지므로 내측 거더와 외측 거더에 대하여 유효폭을 산정하고 총단면, 순단면, PS강재의 환산단면, 바닥판을 합성한 환산단면에 대하여 단면의 특성치(단면적, 단면2차모멘트 및 도심 등)를 구하여야 한다. 주거더는 내측 거더와 외측 거더로 분리하여 설계하게 된다. 이때 합성단면의 유효 플랜지폭은 [철도설계지침]의 규정을 따른다.

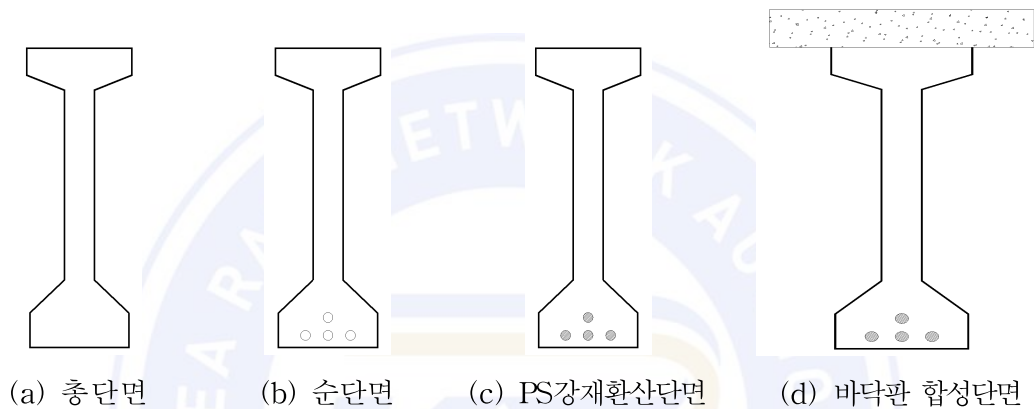


그림 12. 응력계산에 사용하는 각종 단면

표 5. 단면계수 및 탄성계수

| 구 분 | 비합성 거더(프리 텐션) | | 합성 거더(포스트 텐션) | | 비 고 |
|-----------|---------------|----------------|---------------|---|-----------------|
| | 단면계수 | 탄성계수 | 단면계수 | 탄성계수 | |
| 하 중 | | | | | |
| Prestress | PS강재 환산단면 | Prestress 도입 시 | 순 단 면 | Prestress 도입 시 | |
| 자 중 | PS강재 환산단면 | Prestress 도입 시 | 순 단 면 | Prestress 도입 시 | |
| 합성전 고정하중 | PS강재 환산단면 | 교면 포장시 | PS강재 환산단면 | 바닥판 타설 시 | 비합성 거더인 경우 고정하중 |
| 합성후 고정하중 | - | - | 바닥판 환산단면 | $E_c = 0.077m_c^{1.5} \sqrt[3]{f_{ck}}$ | 비합성 거더 해당 없음 |
| 활 하 중 | PS강재 환산단면 | 교면 포장시 | 바닥판 환산단면 | $E_c = 0.077m_c^{1.5} \sqrt[3]{f_{ck}}$ | |

3.4.2 거더 단면력 산정

(1) 단면력 산정 방법

① 격자해석에 의한 방법

- 주거더와 가로보로 격자 구성

- 절점 및 부재에 하중을 재하하여 전산해석 수행

② 판이론에 의한 방법

Guyon & Massonnet이 제안한 이론을 바탕으로 하중 횡분배를 실시하여 각 주거더별 단면력을 산출한다.

- 집중하중의 분배계수

$$K_{ai} = K_{aij} / N_g$$

- 분포하중의 분배계수

$$K_{ai} = \int \frac{K_{ai(e)}}{N_g} \cdot de$$

(2) 고정하중에 의한 모멘트 및 전단력 : 계산된 하중값(주거더, 격벽, 바닥판, 도상 및 방호벽의 자중 등)을 이용하여 하중을 적절하게 모델링하고 각각의 계산할 절점에서 모멘트 및 전단력을 산출한다.

① 주거더 : 주거더의 콘크리트 블록(현치부분) 등을 고려한 주거더 전체의 자중을 고려한다.

② 바닥판 및 격벽 : 바닥판과 거더는 합성전 단계에 작용하는 고정하중으로서 바닥판의 중량, 바닥판 거푸집 중량, 격벽의 중량 등을 계산한다. 이 단계에서의 하중은 동바리 설치 및 거푸집 조립에 따라 다르게 고려하여야 한다.

③ 도상 및 방호벽 : 바닥판과 거더의 합성후 단계에 해당하는 고정하중이며 외측거더는 도상과 방호벽의 자중에 대해서, 내측거더는 도상자중에 대해서 계산한다.

(3) 활하중에 의한 모멘트 및 전단력 : [철도설계지침] 규정의 활하중을 가장 불리하게 재하시켜 계산할 각각의 절점에서의 단면력을 구한다.

(4) 단면력 집계 : 가장 불리하게 작용하는 휨응력 및 휨강도, 전단강도를 구하기 위하여 내측거더 및 외측거더에 대하여 거더 자중과 전술한 합성전의 고정하중, 합성후의 고정하중, 활하중의 4가지 단계별로 발생하는 전단력 및 모멘트를 지간 중앙부나 지점부 등 계산해야 할 각각의 절점에 대하여 정리한다.

3.4.3 휨응력 산정 및 프리스트레스 계산(지간 중앙 설계단면)

단면에 가장 크게 발생하는 응력을 구하기 위하여 거더의 자중, 합성전의 고정하중, 합성후의 고정하중, 활하중의 4가지 단계별로 가장 큰 모멘트가 발생하는 절점의 모멘트를 구한다. 각각의 단계별로 구한 값을 단계별 단면계수로 나누어 콘크리트에 발생하는 가장 큰 휨응력을 구한다.

(1) 소요 PS강연선 개수의 약산 : 유효계산을 가정하여 강연선의 인장력을 구하고, 각 강연선의 유효 응력을 가정하여 인장력을 구한다. 이를 이용하여 구하려는 소요 강연선의 개수를 계산한다.

(2) 프리스트레스 도입 직후의 응력 : 프리스트레스의 도입은 바닥판 슬래브를 타설하기



전에 이루어지므로 이 단계에서 고려되어야 할 하중은 거더의 자중과 초기손실만을 고려한 유효 프리스트레스 하중만을 고려하게 된다. 초기 손실만을 고려한 유효 프리스트레스를 구하기 위하여 우선 긴장할 초기 응력을 가정하고 PS강연선과 쉬스 사이의 마찰에 의한 손실, PS강연선의 활동에 의한 손실, 콘크리트의 탄성변형에 의한 손실을 계산한다. 이를 이용하여 콘크리트의 상연부와 하연부에서의 프리스트레스에 의한 응력을 구하고 주거더의 자중에 의한 콘크리트의 상·하연부의 응력을 구하여 프리스트레스의 도입 직후의 응력을 구한다.

- (3) 설계하중 작용시의 응력 : 설계하중이 작용하는 단계는 합성단면일 경우이며, 이때는 장기손실이 일어난 후의 유효 프리스트레스를 고려하여야 한다. 고려하여야 할 장기손실은 콘크리트의 건조수축 및 크리프에 의한 손실, PS강연선의 릴랙세이션에 의한 손실 등이 있으며, 전술한 바와 같이 계산하여 유효 프리스트레스를 구한다. 이를 바탕으로 설계하중 작용시 콘크리트의 상·하연부의 응력을 구한다.
- (4) 설계하중 작용시의 휨응력의 합성 : 위에서 구한 프리스트레스 도입 직후와 설계하중 작용시의 응력을 조합하여 주거더에 대하여 프리스트레스와 각 단계별의 하중의 조합이 허용응력의 범위 내에 있는지 검토한다. 또 바닥판 슬래브에 대해서도 허용응력의 범위 내에 있는지 검토한다. 이때 조건을 만족하지 못하면 다시 단면을 새롭게 가정하고 다시 설계한다.
- (5) 강도에 대한 검토
 - ① 휨강도 검토 : 휨강도는 보통 휨모멘트가 가장 크게 발생하는 부분인 지간중앙단면에 대하여 검토하게 된다. 최대모멘트를 받은 단면은 최종 바닥판 환산단면이므로 이 때의 단면저항모멘트를 구하고 계수하중 작용시의 휨모멘트의 값과 비교하여 검토한다. 이때 파괴응력 f_{ps} 의 산정은 설계기준 규정이나 변형률적합조건의 근사식을 이용하여 구한다. 이에 관한 자세한 사항은 [철도설계지침]를 따른다.
 - ② 전단강도 검토 : 보통 전단력이 가장 크게 발생하는 지점부에서 전단강도를 검토하게 된다. 우선 휨균열 발생시와 전단균열 발생시에 콘크리트가 부담하는 전단강도를 구하여 그 중 작은 값을 콘크리트가 견딜 수 있는 전단강도로 보고 계수전단력을 구하여 [철도설계지침] 따라 전단철근의 배치를 결정한다.

3.4.4 전단설계 및 사인장 파괴 검토

(1) 수평 전단설계

합성거더교에서의 주거더와 바닥판의 결합은 전단철근이 연결재의 역할을 하게 된다. 우선은 전단철근의 계수단면력을 바탕으로 전단응력을 구한 뒤 허용치 이내에 있는지 검토한다.

(2) 사인장 파괴 검토

PSC 거더는 휨 이외의 다른 원인에 의한 파괴에 대해서도 안전해야 한다. 그러한 파괴

는 휨파괴보다 더 위험할 수 있으며, 또 갑작스럽게 예고없이 일어날 수 있다. 사인장 파괴라고 불리는 휨진단 파괴가 그것이다. 또한 거더는 축방향으로 비틀림을 받을 수 있다. 이 비틀림모멘트가 콘크리트에 사인장 응력을 증가시킨다.

3.4.5 사용성 검토

발생하는 모든 휨모멘트를 고려하여 처짐값을 구한다. 우선 프리스트레스에 의해 발생하는 모멘트를 계산하고, 내측거더, 외측거더에 대하여 고정하중에 의한 처짐(하향), 프리스트레스에 의한 처짐(상향), 활하중에 의한 처짐(하향)을 계산한다. 그 결과가 허용처짐값 이내에 있는지 검토한다.

3.4.6 PS강연선의 검토

PS강연선의 배치형상 및 응력에 대하여 다음과 같은 방법으로 검토한다.

- (1) 강연선의 배치 : PS강연선의 배치로부터 길이를 구하고 이로부터 각 강선별 강선배치 포물선 함수를 얻는다. 이를 이용하여 각 강선별 주거더 중심으로부터의 거리에 따른 거더 하단에서의 강선 높이를 산출하여 강선의 배치형상을 얻는다.
- (2) PS강연선의 인장력 : PS강연선은 긴장시의 응력과의 차이는 무시할 수 있으므로 초기 손실이 일어난 후에 가장 큰 응력을 받는다고 볼 수 있다. 따라서 초기 손실인 PS강연선과 쉬스 사이의 마찰에 의한 영향, PS강연선의 활동에 의한 영향, 콘크리트의 탄성변형에 의한 영향을 강선의 긴장순서별로 계산하여 PS강연선의 인장력을 계산한다. 이때 이 값이 강선의 허용 인장력보다 작은지 검토해야 한다.
- (3) PS강연선의 신장량 : 위에서 구한 결과들을 이용하여 PS강연선의 신장량을 구한다.

3.4.7 정착구역의 설계

- (1) 정착장치의 위치
 - ① 정착장치의 위치는 각 설계단면에 소요 프리스트레스가 충분히 분포되어 도입될 수 있도록 선택하여야 한다.
 - ② 부재의 중간부에 정착장치를 설치하는 경우는 원칙적으로 활하중에 의한 응력 변동이 작은 곳으로서 중립축에 가까운 위치로 하고 동시에 가능한 중간 격벽의 위치를 택하여야 한다.
 - ③ 정착장치는 거더의 복부에 두는 것을 원칙으로 하고, 부득이 상부플랜지, 하부플랜지 혹은 복부단면에 붙여서 정착하는 경우에는 정착장치 부근에 생기는 인장응력에 대해 충분히 보강한다.
- (2) 정착구역 보강
 - ① PSC 부재에서 PS강재를 정착시키는 부분을 단블럭(end block)이라고 하며, 프리스트레스는 이 단블럭을 통하여 부재단면에 도입된다. 단블럭의 길이는 집중적인 응력 상태에서부터 탄성이론으로 계산된 이론상의 응력 분포로 되는 단면까지의 거리를 말한다. 또한 정착구역에서의 파열인장과 쪼갬인장에 대비하여 폐합스터립을 촘촘히 상·하부에 정착시킨다.



② 단부보강 스테럽에 의한 인장력 : $T=M_{\max}/(h-x)$, 여기서 M_{\max} 는 보강철근이 받아야 할 최대모멘트이고, x 는 $h/2$ 내에 배치된 수직 스테럽의 도심으로부터 부재단까지의 거리이다.

③ 필요한 보강철근의 양 : $A_t=T/f_{sa}$

④ 포스트텐션보의 정착구역에서는 파열 및 쪼갬구역에서의 수직인장응력 외에 지압판에서의 축방향 압축력의 집중(지압응력)이 문제로 된다. 그래서 설계기준에서는 정착으로 인한 콘크리트의 지압응력이 다음의 값을 넘지 않도록 규정하고 있다.

- 긴장재 정착 직후 : $f_b=0.7f_{ci}\sqrt{\frac{A_b'}{A_b}}-0.2 \leq 1.10f_{ci}$

- 프리스트레스 손실 후 : $f_b=0.5f_{ck}\sqrt{\frac{A_b'}{A_b}}-0.2 \leq 0.90f_{ck}$

여기서, A_b 는 정착판의 면적(mm^2)이고, A_b' 는 정착판의 도심과 동일한 도심을 가지도록 부재단부에 정착판의 닮은 꼴을 가장 크게 그렸을 때의 도형의 면적(mm^2)을 뜻한다.

⑤ 지압판의 귀퉁이에서 바깥쪽으로 향하여 쪼갬균열이 발생하려는 경향이 있고, 또 정착구역에서 복부의 외측면으로 파열될 우려가 있기 때문에 정착판 바로 뒤에는 철근을 추가배치할 필요가 있다. 즉, 정착구 배면에는 지압판, 정착판 및 슬래브로부터 프리스트레스 힘에 의한 긴장재의 직각방향으로 인장응력이 발생하므로 다음과 같은 형태의 정착구 보강철근을 배치한다.

- 나선형 보강철근 : 정착방식에 따라 다르며, 그 성능은 실험에 의해 검증된 것이어야 한다.

- 격자형상 보강철근 : 나선형 보강철근에 추가로 배치하며, 성능실험으로 검증된 것이어야 한다.

3.5 [단계 5] 가로보 설계

3.5.1 단면력 산정

고정하중 및 활하중에 대한 격자해석 또는 Guyon & Massonnet 이론에 입각한 판이론에 의하여 단면력을 산정한다.

3.5.2 단면검토

시공단계상 다음 2단계에 대한 단면 제정수 및 단면력을 각각 산출하여 단면을 검토하여야 한다.

(1) 현장타설 바닥판 타설전

(2) 설계하중 작용시

3.6 [단계 6] 탄소성 수축량 및 신축량 검토

거더 제작장에서 PSC 거더를 제작시 거더 가설전 영구변형으로서의 소성수축량과 공용 중 회복되지 않는 탄성수축량을 고려하여 제작하여야 한다.

(1) 탄성 수축량 : 프리스트레스에 의한 수축량

$$\Delta_e = \epsilon_e \times \ell = \frac{f_c}{E_c} \times \ell$$

(2) 소성 수축량

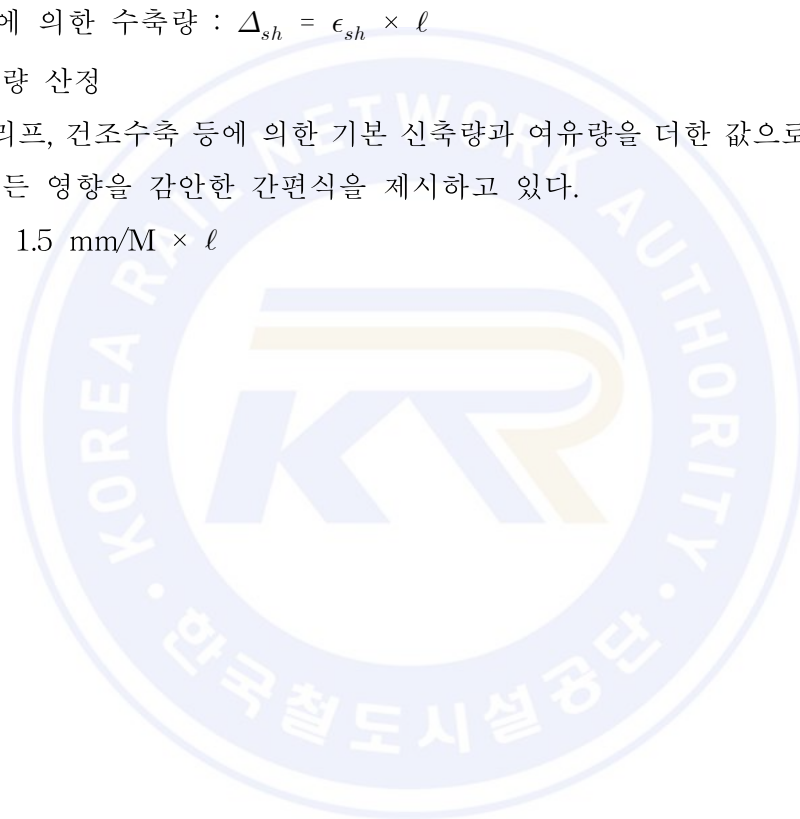
① 크리프에 의한 수축량 : $\Delta_{cr} = \epsilon_{cr} \times \ell = \frac{f_c}{E_c} \times \phi \times \ell$

② 건조수축에 의한 수축량 : $\Delta_{sh} = \epsilon_{sh} \times \ell$

(3) 전체 신축량 산정

온도, 크리프, 건조수축 등에 의한 기본 신축량과 여유량을 더한 값으로 [철도설계지침]에서는 모든 영향을 감안한 간편식을 제시하고 있다.

$$\delta = 1.5 \text{ mm/M} \times \ell$$





해설 2. PSC U형 합성거더교

1. 설계일반

최근 철도교의 기술개발이 활발히 이루어지고 있으며 기술개발과 더불어 철도교의 구조적 특성에 부합하면서 경관을 고려한 조형미 창출과 환경 친화적인 구조물 형식이 요구되는 추세이다.

프리스트레스 콘크리트(PSC)를 이용한 철도교량의 경우 PSC 합성거더교와 PSC 박스거더교가 일반적인 형식으로 표준화된 형태로 주로 사용되었으나, 근래들어 PSC U형 거더교, PSC 사판교 및 엑스트라도즈교 등 프리스트레스 콘크리트를 이용한 다양한 교량형식이 설계에 적용되고 있으며, 이중 PSC U형 거더교의 경우 주거더가 구조적인 기능과 방음벽의 역할을 동시에 수행이 가능한 친환경적인 교량으로 일반철도 및 경전철 등에 많이 사용되고 있는 실정이다.

PSC U형 거더교란 궤도를 슬래브로 지지하고 그 슬래브를 건축한계 밖으로 설치한 주거더로 지지하는 구조로서 철도구조물로서의 안전성과 다리밑 공간 확보의 용이성 등으로 인하여 일찍부터 일본 및 유럽 등지에서 자주 적용된 교량형식으로 다음과 같은 특징을 가지고 있다.

(1) 다리밑공간 확보의 용이성

거더하면에서부터 궤도까지의 높이가 극히 작아 상로방식의 거더로는 필요한 다리 밑공간 확보가 곤란한 경우에 사용이 가능하다. 또한 궤도고가 낮은 교량 특성상 접속부 교량 또는 토공 쌓기부의 성토높이를 최소화하여 전체 공사비 절감이 가능하다.

(2) 친환경성 및 유지관리성

거더자체가 방음벽 역할을 수행하여 방음벽의 배제 또는 축소로 인한 친환경성 확보가 용이하며 방음벽 배제로 교량측면에서 조망시 구조물 전체의 위압감 최소화 도모가 가능하고 유지관리성이 우수하다.

(3) 열차 탈선시 안전성

열차탈선시 주거더가 방호벽 역할을 수행하므로 열차의 주행안전성 확보가 가능하므로 철도교로서의 기능성 측면에서 우수하다.

(4) 다양한 경간장 적용

일반적으로 경간장 30~50m 내외의 다양한 경간장 적용이 가능하며 연속화 및 단면변형시 50m~120m 까지도 적용이 가능하다.

경간장 적용시 유의하여야 할 점은 구조물의 구조적 기능성을 고려 충분한 유효폭 확보가 가능하도록 하여야 하며 특히, 복선 교량설계시에는 구조적으로 기능이 저하되는 플랜지가 발생하지 않도록 유효폭을 충분히 고려한 경간장을 선정하여야 한다.

(5) 가설공법 적용성

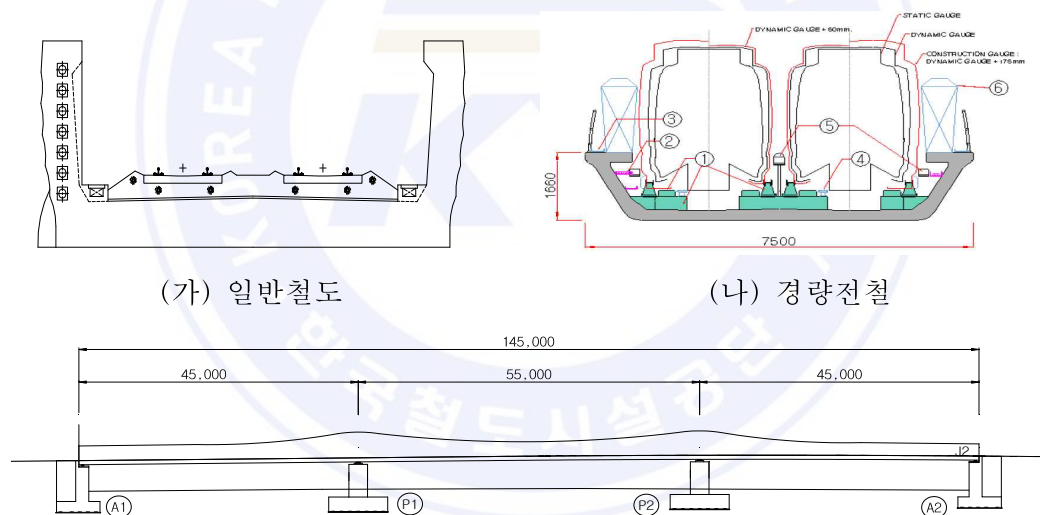
PSC 박스거더교와 마찬가지로 다양한 가설공법의 적용이 가능하므로 주변현황 및 가설여건 등을 충분히 분석하여 경제성 및 시공성을 감안한 최적의 가설공법을 선정할 수 있다. 일반적인 단경간 단순교의 경우 시공성이나 경제성 측면에서 전체지지식 동바리공법(FSM) 또는 Span by Span공법이 용이하며 도로나 하천을 고가로 통과하는 가도교 또는 연속교의 경우 프리캐스트 세그먼트공법(PSM)과 연속압출공법(ILM) 공법 등의 적용이 가능하다.

(6) 기 타

3선 이상의 확폭구조인 경우 효율성이 떨어지고 적설지에서는 제설여유폭을 확보하거나 용융설비가 필요하다.

① 단면형상

PSC U형 거더교의 기본적인 단면 형상은 <그림 13>에 보인 것과 같으며 연속교의 경우 지점부 단면 높이를 변화시켜 장지간화 및 경관성이 우수한 교량단면의 제작이 가능하다.



(다) 변단면 PSC U형 거더교-연속교

그림 13. PSC U형 거더교의 기본 단면형상

② 적용범위

본 지침에서는 현재 일반철도(국철교량)에서 일반적으로 설계·시공되고 있는 PSC U형 거더교량에 대한 설계 주요사항에 대하여 다루며, 설계예의 경우 공사여건 및 주변 자연환경과 궤도에 따른 다양한 조건이 발생할 수 있고 이러한 모든 경우의 조건에 대하여 세부설계내용 및 수치예를 다룰 수 없으므로 전체지지식 동바리공법(FSM)에 의한 교량연장 L=50m의 단순교에 대해서만 구체적인 설계 예제를 다루었다.



2. 종방향 및 횡방향 구조해석

2.1 구조해석

2.1.1 일반사항

PSC U형 거더교는 양측 주거더간 횡방향 간격이 교량폭원에 비해 상당히 큰 값을 갖는 구조로 슬래브에 작용하는 연직하중으로 발생하는 횡방향 부재력을 바닥판 슬래브의 휨강성과 주거더의 비틀림 강성으로 저항하여야 한다.

PSC U형 거더교와 비슷하게 판구조 요소들의 복합체인 PSC 박스거더교의 경우 실제 거동시 횡방향과 종방향의 거동이 상호연계되어 나타나지만 일반적으로 종방향과 횡방향 거동을 분리시켜서 구조해석을 수행한다. PSC 박스거더교의 다양한 해석방법은 본 지침 PSC 박스거더교에 수록되어 있으며 일반적으로 종방향 해석시 횡방향 휨모멘트 효과를 고려할 순 없지만 들보이론으로 해석하여 거더높이나 복부 두께 등을 결정하고, 횡방향 해석시에는 Kupfer, Kollbrunner and Hajdin, BEF 유사법 등의 이론을 적용하여 횡단면해석을 수행한다.

PSC U형 거더교의 구조해석 또한 PSC 박스거더교와 종방향 및 횡방향 해석에 대해 동일한 해석방법을 적용할 수 있으며, 격자 또는 판해석을 수행하는 것이 완전폐합구조가 아닌 단면특성 반영하고 실제 열차하중의 차축배치에 따른 바닥판 슬래브와 주거더 결합부에서의 해석 정밀도를 높일 수 있다.

2.1.2 종방향 구조해석

PSC U형 거더교는 복선 이상으로 주거더 개수를 증가하지 않는 한 양측 주거더와 바닥판 슬래브 3개의 구조부재로 구성이 단순하므로 전단면을 하나의 거더로 보고 교축방향 단면력을 산출할수 있으나 지간 대비 교폭이 넓은 경우 또는 곡선교, 사각이 70° 이하인 경우에는 격자구조이론을 이용하거나 판요소를 이용해서 단면력을 산출하는 것이 좋다.

2.1.3 횡방향 구조해석

횡방향 구조해석에 있어서 활하중은 특수한 경우를 제외하고는 일반적으로 S하중에 대해서 검토하며, 온도하중을 고려하여 해석하여야 한다. 또한 주거더 상단에 방음벽 등 특수 가시설물이 영구적으로 설치되는 경우에는 이에 대한 하중을 고려하여 부재 검토를 실시하여야한다. 복선교량의 경우 횡방향으로 프리스트레스싱을 실시하므로 프리스트레스 하중을 고려하여야 한다. 활하중은 일반적으로 특수한 경우를 제외하고는 LS하중에 대해서 검토한다.

횡방향 구조해석의 경우 PSC U형 거더교에 작용하는 LS하중에 대해 실시할 수 있는 방법을 대별하면 다음과 같다.

2.1.4 「KR C-10050의 6.5항」를 사용하여 국부 휨모멘트를 구한 뒤 뼈대구조해석하는 방법

- (1) 「KR C-10050의 6.5 바닥판 설계 휨모멘트」를 사용하여 하중분포폭을 결정한 뒤 뼈대구조해석하는 방법
- (2) 영향면을 사용하여 국부 휨모멘트를 구한 뒤 뼈대구조 해석하는 방법 또는 절점하중에 대하여 직접 횡방향 해석을 하는 방법
- (3) 복부를 고정단으로 하여 LS하중을 재하해서 바닥판을 유한요소법으로 해석하고, 동일한 하중에 대해 박스거더 횡단면을 뼈대구조로 구조해석한 뒤, 두 값을 비교분석을 통해 분포폭을 결정하고, LS하중을 감소시켜 뼈대구조모델에 수정된 하중을 재하하는 방법
- (4) 절판법, 유한대판법, 유한요소법 등을 사용하여 정밀 해석하는 방법

2.2 설계고려사항

2.2.1 설계이론 및 일반 고려 사항

구조물은 안전하고 경제적으로 그 목적에 적합하도록 설계하여야 하는데 이를 위하여는 교량의 설계시 다음 사항들을 고려하여야 한다.

- (1) PSC구조물은 보수, 보강, 개량 등이 어려운 경우가 많으므로 설계에 앞서 충분히 조사하여 그 결과에 따른 적절한 판단을 내리고 구조물에 유해한 균열, 파손 등의 결함이 발생 하거나 유해한 변형이 생기지 않는 구조물을 만들어야 한다. 이를 위하여 시험결과 및 과거의 경험을 기초로 구조물이 받는 하중, 온도변화, 기상작용, 지반의 지지력, 특별한 경우에는 지진의 영향 등을 충분히 조사하고 구조물의 중요도검사, 보수의 난이, 미관, 기타 현장의 실정을 고려하여 이들에 적절히 대응할 수 있도록 구조물의 형식, 허용응력 및 구조상세 등을 정하여 설계하여야 한다.
- (2) PSC단면을 사용하중 하에 탄성거동을 하도록 설계한 경우에는 사용성은 확보되지만 안전에 기여하는 강도가 부족할 수가 있다. 마찬가지로 강도설계법에 따른 설계단면은 사용하중 하에 사용성을 확보하지 못하는 경우가 있다. 따라서 구조물 또는 부재는 공사 중 및 사용기간 중에 받을 것이 예상되는 각 단계별 모든 하중작용에 대하여 안전하게 저항할 수 있도록 설계되어야 함과 동시에 일반적으로 사용하중 하에서 사용성을 확보할 수 있는지 검사하는 것을 원칙으로 한다.

설계시 고려하여야 할하중단계는 다음과 같다.

- ① 프리스트레스 도입시-긴장재의 인장력은 최대인 반면에 콘크리트의 강도는 최소이다.
- ② 사용하중 작용시-하중이 장시간 작용하면 콘크리트의 크리프, 건조수축 및 PS강재의 릴렉сей션 등에 의하여 PSC구조물에 체적변화가 생긴다.
- ③ 극한하중 작용시-부재의 안전성을 검토하기 위해서 내하력 계산이 필요하다.
- ④ 이밖에 균열하중단계, 수송 및 가설시의 하중단계에 대해서도 검토가 필요하다.



- (3) 프리스트레스를 도입하면 탄성 및 소성변형, 길이 변화, 처짐, 비틀림 등이 일어나는데 이에 인접한 구조물이 있는 경우에는 인접구조물의 위치나 구조에 따라서는 이들의 영향을 받게 되므로 설계시에 이러한 점을 고려하여야 한다. 또한, 온도의 변화와 콘크리트의 건조수축에 따른 영향을 받게되는 일이 있으므로 이들을 동시에 검토하여 설계에 고려하여야 한다.
- (4) 전단응력의 계산에 쓰이는 복부의 폭은 복부 축선의 직각방향의 두께로 한다.
- (5) 정착부나 긴장재의 굴곡부 또는 절곡부 등에는 프리스트레스에 의한 응력이 집중되게 된다. 이 응력집중이 부재에 주는 영향을 설계시 검토하여 이에 대한 적절한 보강을 하여야 한다.

2.2.2 기본 가정

PSC U형 거더교 설계는 선형 탄성이론을 적용하며 설계에 적용되는 주요 기본 가정은 다음과 같다.

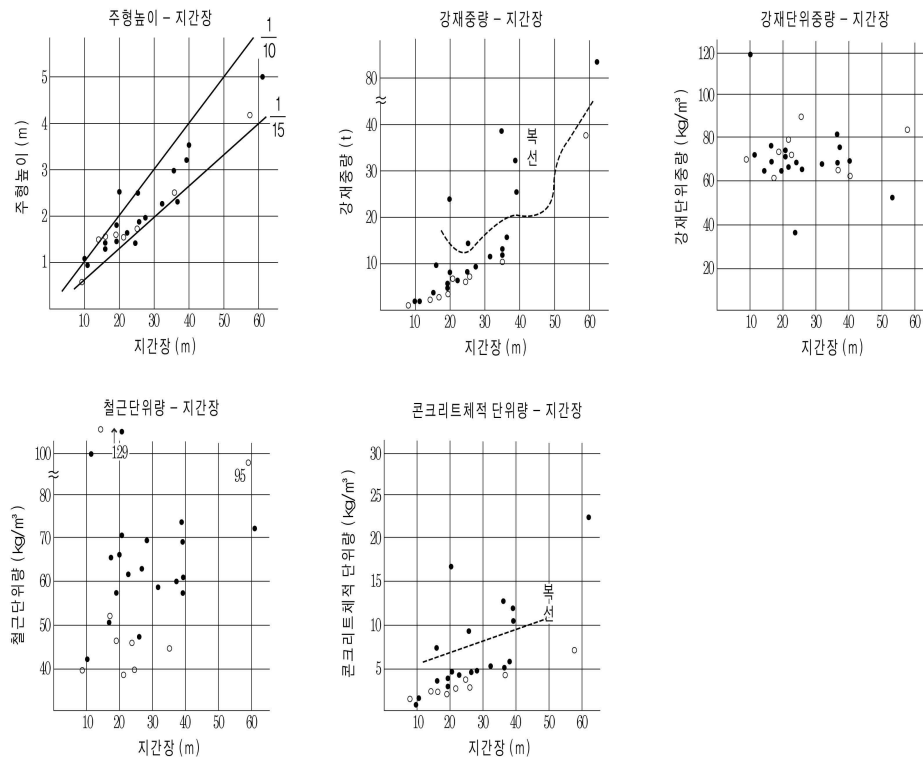
- (1) 전체 하중범위에 걸쳐 변형률은 부재의 깊이에 따라 직선적으로 변화한다.
- (2) 균열이 발생하기 전의 콘크리트의 응력은 변형률의 크기에 정비례한다.
- (3) 균열이 발생한 후에는 콘크리트의 인장 강도를 무시한다.

2.2.3 횡단면 형상

횡단면 형상은 바닥판 슬래브를 양측의 주거더가 매달고 있는 형태의 2주 구조가 일반적이며 특별히 복선 이상의 경우 선로 사이의 여유 공간이 있을시에는 바닥판 슬래브의 단면력 분배를 위해 추가로 주거더를 설치하는 다주구조형식이 가능하다. 또한 주거더 높이에 제한이 없으므로 주거더 높이를 변화 시키거나 박스구조 형태로의 폐합시 장경간 연속화가 가능하다.

2.2.4 거더의 높이

주거더 높이는 특별한 제한은 없지만 여객용 차량의 창문 아랫면 높이 이하가 되도록 하고 거더높이/지간장의 비는 1/10 ~ 1/15의 범위가 적정하다. 거더의 상면 플랜지 크기를 크게 취할 경우 상면 플랜지의 압축응력을 감소시키므로 단면의 균형이 유지되는 선에서 적정하게 키울 수 있다.



2.2.5 바닥판 슬래브

바닥판 슬래브의 두께는 횡방향 프리스트레싱 유무에 따라 그 크기가 달라지며 바닥판 슬래브가 얇을 경우 변형이 발생하여 주거더에 큰 비틀림이 발생할 우려가 있기 때문에 바닥판 두께 산정시 세심한 주의를 기울여야 한다.

열차하중을 등분포하중으로 환산하여 격자해석을 수행할 경우 바닥판 슬래브와 주거더와의 결합부에 정모멘트가 발생하지 않는다. 그러나 실제 열차하중의 차축배치를 고려하지 않아 발생한 결과이며 차축배치를 고려한 열차하중 단선 재하시 결합부에 정모멘트가 발생하는 경우가 있다. PSC U형 거더교의 사용이 빈번한 일본의 경우에는 이를 감안하기 위해 격자해석으로 구한 부모멘트의 1/2을 정모멘트로서 작용하는 것으로 하여 설계한다.

2.2.6 복부

복부는 교축방향 압축응력, 연직방향 인장응력, 휨, 전단응력, 비틀림 전단응력이 동시에 작용하므로 이러한 응력들을 조합하여 구한 사인장응력이 허용치 이하가 되는 두께가 필요하다.

이에 따라 복부와 바닥판 슬래브의 결합부에 가까워질수록 두께를 확대하는 구조적으로 유리할 뿐만아니라 횡방향 체결용 PS강재의 정착공간 확보에도 유리하다. 만약 이러한 단면확대로도 정착공간이 부족할 경우 외부로 돌출물을 설치하여 정착공간을 확보할 수 있다.



2.2.7 가로보

복선 이상의 교량설치시 횡방향 텐던을 배치할 경우 바닥판 슬래브의 두께가 지나치게 두꺼워 질 수 있으므로 교축직각 방향으로 가로보를 설치하여 상부 고정하중을 감소시킴과 동시에 바닥판 슬래브가 강성을 갖게 한다.

주거터의 양단부에는 바닥판 슬래브 두께의 2배 정도의 단부 가로보를 설치하여 주거터의 변형을 구속하는 것이 좋다.

2.2.8 PS강재의 배치와 정착

교축방향의 종방향 PS강재는 주거터 복부와 바닥판 슬래브에 배치하지만 지간중앙에서 복부와 바닥판에 도입된 프리스트레스에 큰 차이가 생기지 않도록 하는 것이 좋다. 복부와 바닥판 슬래브의 프리스트레스 차가 클 경우에는 복부와 바닥판 슬래브 사이에 수평전단응력이 발생하게 되며 이에 대한 검토가 수행되어야 한다.

복부에 배치한 PS강재는 거터의 상면에 정착하는 방법과 거터의 단부에 정착하는 방법이 있으며 상면에 정착하는 경우 우수 침투에 의한 PS강재의 부식이나 상면 정착부의 큰 Anchor Block에 의한 단면결손 등을 고려하여 단부에 정착하는 방법이 많이 사용된다.

교축직각방향으로 바닥판 슬래브에 배치한 횡방향 PS강재에는 세트량이 적은 PS강봉을 사용할 수 있으며 바닥판 슬래브의 폭이 커서 PS강봉을 사용하는 것이 부적당할 경우 PS강선을 사용할 수 있다. 이때에는 세트량이 적은 정착구를 사용하는 것이 좋다.

사교의 경우에는 PS강재는 프리스트레스의 효율과 시공성을 고려하여 직각으로 배치하는 것이 좋으나, 거터가 짧은 경우 또는 사각이 직각에 가까운 경우에는 사각에 따라 배치해도 좋다. 지간의 중앙부에서는 복부에 배치된 PS강재와 횡방향 PS강재가 간섭되지 않도록 주의하여야 한다.

2.3 PSC U형 거터교의 가설공법

2.3.1 가설공법 종류

PSC U형 거터교의 가설공법은 사용재료, 장비 및 현장여건 등에 따라 다양한 가설공법을 적용할 수 있으며 동바리 사용유무에 따라 <표 6>과 같이 분류할 수 있다.

표 6. PSC U형 거더교의 가설공법 종류

| 동바리 | 가 설 공 법 |
|-----|--|
| 사용 | · 전체지지식 동바리공법(Full Staging Method ; FSM) |
| | · 지주지지식 동바리공법 |
| | · 거더지지식 동바리공법 |
| 미사용 | · 이동식 비계공법(Movable Scaffolding System ; MSS) |
| | · PSM(Precast Segment Method: PSM) |
| | · FSLM(Full Span Launching Method: FSLM) |
| | · 연속압출공법(Incremental Launching Method ; ILM) |

PSC U형 거더교는 PSC 박스거더교와 마찬가지로 가설공법에 따라 설계방법이 다르게 적용되므로 이 절에서는 다음의 대표적인 가설공법의 특징과 설계 시 특별히 고려하여야 할 사항을 간략히 요약한다.

2.3.2 전체지지식 동바리공법(Full Staging Method ; FSM)

(1) 개요

전체지지식 동바리공법은 가설공법 중에서 가장 오래된 공법으로서 현장 타설된 콘크리트가 소정의 강도에 도달할 때까지 콘크리트의 자중, 거푸집 등의 하중을 동바리가 일시적으로 지지하는 방식이다. 최근 여러 신공법의 개발로 낙후된 인상을 주나 아직까지도 널리 이용되고 있는 일반적인 공법이다. 이 공법은 가설하여야 할 구간엔 동바리를 설치하고 상부구조(주거더 및 바닥판)를 일시에 타설하는 방법으로 그 공정이 타 공법에 비하여 간단하므로 구조계산 및 설계방법 역시 단순하게 된다. 다만, 가설 중 거더 밑에 동바리가 상치되어 있어야 하므로 깊은 계곡이나 도로를 횡단하는 등 동바리를 설치하기에 곤란한 곳은 이 공법을 적용하기가 곤란하다.

(2) 전체지지식 동바리공법 계획시 유의사항

전체지지식 동바리공법은 투입장비의 비용이 저렴하고 공정이 비교적 간단하다는 이점 때문에 지금도 평탄하고 낮은 지형에 짧은 교량을 건설하는 경우에 널리 이용되고 있다. 그러나 이 공법은 높은 인건비와 공사기간의 장기화, 더욱이 지형에 대한 의존도가 높아 깊은 계곡이나 불규칙한 지형에 교량을 가설하는 경우 타 공법에 비하여 비경제적이 될 수 있으므로 계획시 이러한 점을 충분히 고려하여야 한다.

(3) 전체지지식 동바리공법 설계시 유의사항

전체지지식 동바리공법은 상부구조(주거더 및 바닥판)를 일시에 타설하는 방법으로 구조계산 및 설계방법에서 특기할 점은 없고 일반적으로 적용되는 PSC 박스거더교와 동일한 설계방법 및 일반 사항을 따르면 된다. 다만, 연속교로서 가설지점의 지



형이 불규칙하거나 연약지반 등을 통과하는 경우 부등침하에 대한 안전성을 면밀히 검토할 필요가 있다. 설계에 대한 자세한 사항은 해설 2의 3항의 설계예제를 참고한다.

2.3.3 이동식 비계공법(Movable Scaffolding System ; MSS)

(1) 개요

이동식 비계공법(MSS ; Movable Scaffolding System)은 교량상부구조를 시공할 때 거푸집이 부착된 특수한 이동식 비계를 이용하여 한 경간씩 시공해 나가는 공법이다. 이 공법은 전체 지지식 동바리공법(FSM ; Full Staging Method)과 유사하므로 기계화된 타 공법에 비해 구조계산이 비교적 단순하고 텐던배치도 복잡하지 않지만 대형 장비를 사용하므로 상부구조와 교각설계시 장비중량을 반드시 고려해야 하며, 시공단계별 구조해석을 실시하여야 한다. 또한 교량구조물 뿐만 아니라 이동식 비계 자체도 시공단계별 구조해석을 실시하여 시공 중 안전성 및 안정성을 확보하여야 한다.

(2) 이동식 비계공법 계획시 유의사항

이동식 비계공법은 기본적으로 동바리 시공을 전제로 한 계획과 차이가 없지만 다음 항목을 고려할 필요가 있다.

- ① 기계화시공의 효율성을 높이고 급속 시공을 꾀하기 위해서는 동일단면이 연속해 있을 필요가 있으므로 단면변화가 없는 교량이 연속적으로 반복되는 구간에 적합하다. 이동식 비계공법은 대형 기계장비를 사용하므로, 동바리 공법 등 지상식 비계 시공과 비교할 경우 초기 투자비가 막대하기 때문에 교장이 길어야 경제성이 있다.
- ② 적용 경간, 적용 교폭은 비계보의 강성, 주 유압잭 등 가설장비의 능력에 의해 결정되지만, 일반적으로 하부이동식 비계로 시공되는 교량의 경간길이는 30~50m의 범위이고, 50m 이상인 교량의 경우에는 이동식 비계의 장비제작비가 증가하므로 비경제적이 될 수도 있지만, 현장사정상 채택하는 경우에는 중간에 가지주(假支柱)등을 설치하고 사용한다.
- ③ 이동식 비계공법은 시공속도, 교하교통에 대한 안전성 등의 측면에서 볼 때 우수하므로 이러한 점도 계획시 충분히 고려되어야 한다.

(3) 이동식 비계공법 설계시 유의사항

이동식 비계에 의해 연속교를 1경간씩 분할해서 시공하는 것은 통상 한번에 비계보 위에서 연속교를 시공하는 동바리 시공과 다음과 같은 점이 서로 다르다.

- ① 시공단계마다 콘크리트 상부하중과 이동식 비계 자중이 작용하는 구조계가 다르기 때문에 탄성휨모멘트 자체가 동바리 시공과 다르다.
- ② 탄성이론으로 구한 휨모멘트 이외에 콘크리트 크리프 현상에 의해 부정정휨모멘트가 발생한다. 더욱이 이 경우에 각 경간마다 콘크리트의 재령이 다르기 때문에 크리프 현상도 달라 전체 경간 시공 후에도 부정정모멘트는 변화하게 된다. 따라서, 이동식 비계에 의해서 분할 시공되는 연속교의 휨모멘트는 이상의 두 가지 사항에 유

의하여 계산되어야 한다.

- ③ 이동식 비계로 연속교를 시공할 때 전술한 것처럼 구조계가 변화되므로, 콘크리트 재령차에 의한 크리프, 건조 수축 등의 영향을 고려하여 휨모멘트를 계산한다. 이때 고려할 지속하중은 교량 상부구조의 자중, 프리스트레스 힘, 건조수축의 영향 등으로 한다. 크리프에 의한 부정정력은 엄밀하게는 구조계가 변화할 때의 콘크리트 재령으로부터 구조계 각 부의 크리프계수를 구하여, 지속하중에 의한 단면력을 고려해서 산출된다. 따라서, 위와 같은 엄밀 계산은 구조계가 변화하는 횟수가 많아짐에 따라 복잡하게 되며, 컴퓨터 구조해석을 실시하는 경우가 많다.
- ④ 이동식 비계공법으로 교량을 건설하는 경우에는 이동식 비계 특성을 고려하여 교각을 설계하여야 한다.
- ⑤ 처짐(캠버)곡선

이동식 비계로 연속교를 분할 시공하는 경우에는 시공단계별로 처짐관리가 이루어져야 한다. 프리스트레스 및 크리프에 의한 처짐값은 각 시공단계마다 계산해야 한다. 일반적으로 고려해야 하는 처짐은 다음과 같다.

- 이동식 비계의 자중에 의한 비계보의 처짐
- 교량 상부구조의 자중에 의한 비계보의 처짐
- 후방 지지현수재 지점반력에 의한 비계보 및 교량 상부구조의 처짐
- 분할 시공시 교량 상부구조의 자중에 의한 교량 상부구조의 처짐
- 프리스트레스 및 크리프에 의한 교량 상부구조의 처짐

따라서, 이동식 비계공법을 적용하는 교량일 경우에는 매 시공단계마다 전술한 처짐값을 모두 고려한 처짐도를 작성하고, 이에 상응하는 캠버도를 작성하여 이동식 비계의 외부거푸집을 이 캠버도에 맞춰 유압잭 등으로 설치할 수 있어야 한다.

2.3.4 PSM(Precast Segment Method)

(1) 개요

PSM(Precast Segment Method)은 상부구조를 일정 길이(3~5m)의 Segment로 분절하여 타설하고 이를 이동시켜 상부에서 연결한 후 일체화 시키는 공법이다.

PSM공법에 적용되는 Segment는 현장 및 공장제작이 가능하며 제작된 Segment를 현장으로 운반, 가설한 후 포스트 텐서닝 작업만 시행하므로 공사 기간동안 교통통제 및 현장에서의 가설기간을 최소화 할 수 있다.

(2) PSM공법 계획시 유의사항

PSM공법은 교량하부에 동바리를 설치하지 않고 특수한 가설장비를 사용하여 교각 또는 교대에서 순차적으로 한 세그먼트씩 연결함으로써 교량 가설시 보행이나 통행에 지장을 초래하지 않는 공법으로 깊은 계곡이나 도로를 횡단하는 등 동바리를 설치하기에 곤란한 곳에 유리한 공법이다. 다만, 이 공법의 계획시 다음의 항목을 고려



할 필요가 있다.

- ① PSM공법은 프리캐스트 세그먼트(Precast Segment)를 사용하므로 품질 및 시공성이 우수하나 프리캐스트 세그먼트 거치를 위한 행어 빔 등의 가설이 필요하므로 공법선정시 이동식 비계공법 및 연속압출공법과의 장단점 비교 및 경제성분석을 할 필요가 있다.
- ② 프리캐스트 세그먼트를 공장제작할 경우 현장타설시 보다 품질이 우수하나 현장까지의 운반거리 및 가설조건과 세그먼트 분할 개수 등을 종합적으로 고려하여 현장타설과의 장단점 및 경제성을 분석할 필요가 있다.

(3) PSM공법 설계시 유의사항

프리캐스트 세그먼트에서는 어떠한 인장응력도 허용하지 않기 때문에 콘크리트 인장강도는 중요한 요소가 되지 못한다. 따라서 콘크리트의 허용 압축응력이 콘크리트 강도 결정의 지배 요인이 된다. 정확한 결과는 계산을 수행해보아야 하겠지만 일반적으로 40MPa 부터 50MPa 이상까지 증가 될수도 있을 것이다. 단순교에서는 모든 부재가 매우 작은 압축플랜지를 나타내거나 거의 나타내지 않기 때문에 콘크리트의 강도의 문제는 일어나지 않는다. 단지 연속교의 경우 부모멘트 영역에서 콘크리트의 압축허용응력이 문제가 될 수 있다. 그러나 이 경우에도 연속교의 부모멘트 영역부근에서 주거더의 플랜지 단면의 변화를 준다면 콘크리트의 강도는 일반구간(정모멘트구간)과 같은 콘크리트의 강도를 사용할 수 있다. 따라서 콘크리트의 추가적인 고강도 콘크리트의 필요성은 없다. 단, PSM공법 적용하여 설계할 경우 다음의 항목에 대해서 추가로 고려할 필요가 있다.

① 사각

일반적으로 PSM공법 적용시 사각이 있는 경우 교량의 평면을 변형시키는 것이 아니라 받침의 위치를 변경시켜 사각의 영향을 고려한다.

가. 사각이 적은 사교(Bridges with a small skew angle)

사각이 작을 경우에는 교대위의 받침의 위치는 교각의 위치와 평행하도록 배치한다. 이러한 경우 직교의 경우와 마찬가지로 동일한 방법으로 배치하면 된다. 교대들 위에 받침은 첫번째 주거더 끝에 위치하고, 반대편 받침은 두번째 주거더 끝 뒷부분에 위치시켜서 두 번째 주거더 끝부분을 캔틸레버 구조로 형성시킨다.

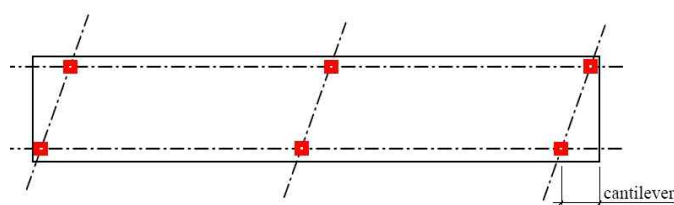


그림 14. 사각이 적은 경우 받침 배치

이렇게 사각이 작은 경우에는 교량이 대칭과 비대칭에 상관없이 양쪽의 주거더 모두 거의 동일한 프리스트레싱 설계량을 적용할 수 있다. 따라서 직교와 동일한 방법으로 양쪽 주거더를 한번에 검토하여도 무방하다.

그러나 이러한 받침배치에서 단부 캔틸레버에 일반적이지 않은 큰하중이 작용한다면 더 이상 이러한 받침 배치를 적용하기가 어렵다. 만일 이러한 경우가 발생한다면 이 경우는 더 이상 사각이 적은 경우로 볼수 없다.

나. 사각이 큰 경우 (Bridges with a more important skew angle)

사각이 너무 큰 경우에는 받침의 위치를 옮기어 사각을 줄이는 것이 바람직하다. 이러한 경우 양쪽 주거더 각각에 다른 프리스트레스량으로 설계를 수행하여야 한다.

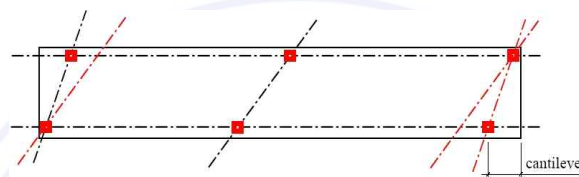


그림 15. 사각이 큰 경우 받침 배치

양쪽 주거더에 대해 각각의 필요한 프리스트레스량으로 설계되어 진다면 사각의 크기와 관계없이 PSM공법의 적용이 가능하나, 적용가능한 주거더 캔틸레버부의 최대길이를 산정한 후 받침의 위치를 옮기어 사각의 크기를 줄여야 한다.

다. 종단(Profile)

PSM공법의 적용에 있어서 종단(Profile)의 특별한 제한은 없다. 일반적으로 PSM공법의 종단구배에 관한 유일한 제약조건은 가설기간동안 일어난다. 완공 후 공용하중이 재하되는 단계에서는 받침이 수평하기만 한다면, 교량전체가 수평이든 수평이지않든 간에 문제가 되지 않는다. 그러나 세그먼트 가설 중에는 세그먼트들이 종방향으로 움직임이 자유롭기 때문에 세그먼트의 움직임을 제어할 수 있는 특수한 장치가 반드시 필요하다. 이러한 제어의 기술은 가설의 방향에 의존하게 되는데 이전에 가설되었던 공간에서 이루어지는 것이 보통이다. 본 지침에서는 단지 종단구배에 관한 PSM공법의 제약조건을 검토한 것이므로 가설에 대한 세그먼트 제어기술에 대한 자세한 설명은 생략하기로 한다.

라. 곡선선형(Curve Alignment)

평면선형이 곡선인 경우에는 양쪽의 주거더사이에 평면선형을 배치하고 공간내 주거더를 곡선에 맞도록 제작할 수 있기 때문에 시공시 별문제가 되지 않는다. 다만 가설방법에 따라 그 단면이 달라질 수 있다.

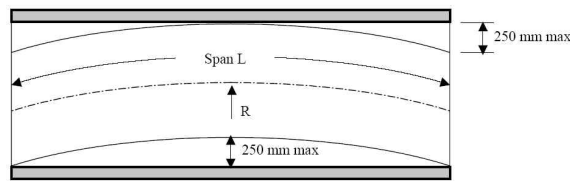


그림 16. 곡선선형 계획

2.3.5 FSLM(Full Span Launching Method)

(1) 개요

FSLM(Full Span Launching Method)공법은 30~50m의 한 경간 전체를 공장(현장 제작장)에서 일괄 제작하여 특수한 가설장비를 이용하여 현장에서 가설하는 공법이다. 이 공법은 PSM(Precast Span Method), FSPM(Full Span Precast Method) 또는 FPLM(Full-Span Precast Launching Method)라고 소개되기도 하나 본 지침에서는 FSLM으로 공법명을 정의하였다.

FSLM공법의 특성상 운영에 따라 1일 1경간의 가설이 가능하므로 현존하는 가설공법 중 가장 빠른 교량 가설공법이라 할 수 있다. 이 공법은 이탈리아에서 고속철도 교량 공사용으로 개발되어 지금까지 약 30년간 주로 고속철도 교량공사에 시공되어 왔으나, 최근 국내 교량공사 가설에 많이 적용되는 추세이다.

FSLM공법은 공장에서 일정한 길이의 균일한 품질로 제작한 PSC U형 거더 상판을 현장으로 운반 후 이동식 가설트러스(Launching Girder)로 인양하여, 연속적으로 가설하여 상부구조를 완성시키는 공법으로 표준화된 규격으로 시공이 가능하고 가설속도가 빨라 공기 단축에 유리하다. 개략적인 시공순서는 철근망 제작, 텐던 긴장 콘크리트 타설 및 양생 후 인출하여 Launching Girder로 이동 및 가설하는 순서이다.

(2) FSLM공법 계획시 유의사항

FSLM으로 시공되는 PSC U형 거더교의 설계시에는 세그먼트의 제작, 운반 및 가설과 관련된 부분을 추가로 설계에 반영하여야 한다.

① 제작장 계획시 유의사항

일반적으로 제작장은 세그먼트 운송의 편리함을 위해 가설 현장 가까이에 위치한다. 제작장은 철근 가공 및 조립, 콘크리트 타설, 보수 및 야적을 위한 장소로 나뉘어 진다.

제작장의 지반은 세그먼트의 지지에 충분해야 하며 부등침하가 발생하지 않도록 해야 한다.

철근은 제작장 내의 철근작업장에서 일괄절단 및 가공된 후 생산일정에 맞추어 반입하여 사용한다. 제작시간을 줄이기 위해 철근은 미리 조립해 두고, 완성된 Cage는 타설장으로 운송한다.

콘크리트 타설장비를 충분히 사용할 수 있는 곳에서는 세그먼트 전체를 일괄타설한다. 콘크리트 타설작업은 하부슬래브, 주거더 순으로 작업하고 콘크리트 타설 양이 많고 타설해야 할 구간이 길기 때문에 Cold Joint가 발생하지 않도록 주의해야 한다.

양생은 조기 강도발현을 위해 증기양생을 실시할 수 있으며 프리스트레싱 및 이동시 충분한 강성을 얻을 때까지 콘크리트를 양생한다. 양생이후에는 제작장의 임시받침 위에 야적한다.

② 운반시 유의사항

중량물인 세그먼트를 운반하기 위해서는 특수장비가 필요하다. 제작장 내에서의 운반은 주로 Gantry나 Lifting Frame이 사용된다. 이때 제작장의 상황에 따라 바퀴를 사용하거나 레일을 설치해 그 위로 이동할 수도 있다. 레일 위로 설치하는 것은 조립 및 이동이 간편한 장점이 있으며, 바퀴로 이동하는 경우는 제작장 주위로 세그먼트를 자유롭게 이동 시킬 수 있는 장점이 있다.

이동시에는 세그먼트의 자중을 분산시키기 위해서 여러 개의 바퀴축이 달린 특수차량이 사용이 사용된다. 특수차량이 기존 도로나 교량으로 이동시에는 과대한 차량축하중으로 인하여 문제가 발생할 수 있으며 이에 대한 적절한 조치가 필요하다. 이러한 문제를 해결하기 위해 완성된 상부구조 위로 특수차량이 이동할 수도 있다. 이를 위해서는 교량의 설계단계에서 특수차량 하중을 고려해야 한다.

③ 가설시 유의사항

세그먼트를 가설하기 위해서는 세그먼트를 인양하여 계획된 위치에 설치할 수 있는 특별한 장비(Launching Girder)가 필요하다. 특수차량이나 레일을 통해 운반된 세그먼트를 런칭거더에서 인양하여 교량받침 위에 설치한다. 이후에 런칭거더는 다음 구간으로 이동하여 이전 설치과정을 반복하게 된다.

(3) FSLM공법 설계시 유의사항

FSLM으로 시공되는 PSC U형 거더교의 설계시에는 세그먼트의 제작, 운반 및 가설과 관련된 부분을 추가로 설계에 반영하여야 한다.

① 제작시 검토사항

세그먼트 제작 시 몰드의 운영 및 철거를 반영한 계획수립이 필요하며 제작장에서 세그먼트 야적시에 불리한 응력이 발생하지 않도록 해야 한다.

② 운반 및 가설시 검토사항

완성된 상부구조 위로 세그먼트를 운송하는 경우에는 이때 발생하는 응력과 단면력에 대해서 검토가 필요하다. 특히 특수차량 및 특수한 가설장비에 대해서는 동적효과를 고려해야 하며 이에 대해 상부구조 뿐만아니라 하부구조의 안전성을 확인해야 한다. 또한 세그먼트는 중량물이며 여러번의 인양이 이루어지므로 인양부에 대한



안전을 확인해야 한다.

2.3.6 연속압출공법(Incremental Launching Method ; ILM)

일반적인 PSC U형 거더교는 상부슬래브를 설치하지 않는 하로교이므로 PSC 박스 거더와 달리 1차 PS강재의 설치가 곤란하고 구조계 변화에 따른 시공단계별 강성이 충분치 않아 주거더 높이를 증가시키고 상부를 폐합하여 박스 형상으로 변형할 경우 연속압출공법을 적용할 수 있다.

연속압출 공법적용시에는 본 지침 PSC 박스거더교의 연속압출공법 설계 및 계획 시 유의사항을 고려하여 설계하여야 한다.

2.4 설계하중

설계에 적용되는 설계하중과 하중조합은 「KR C-08020」의 규정에 따라야 하는데 교량의 형식 및 가설방법에 따라 반드시 고려하여야 할 하중조합이 달라지므로 주의할 요한다. 예를 들어 연속교와 같은 부정정구조물의 경우에는 온도변화, 크리프, 건조수축, 지점 침하 등은 교량의 전 지간에 걸쳐서 적지 않은 영향을 미치므로 반드시 고려하여야 하며, 프리스트레싱 힘은 단면에 직접 영향을 주는 1차 응력 뿐 아니라 구속력에 의한 2차모멘트도 유발시키므로 프리스트레싱 힘에 의한 2차모멘트를 반드시 설계에 고려하여야 한다. 또한 가설공법에 따라서도 시공 중 가장 불리한 하중 조합이 달라지므로 설계하중을 정하는 경우에 가설공법에 대한 고려가 필요하다.

2.5 설계법 및 안전율

PSC U형 거더교의 설계법은 다른 PSC 구조물과 마찬가지로 허용응력 설계법을 기본으로 하며, 구조물 수명동안에 설계하중보다 큰 하중이 작용할 수 있으므로 이러한 하중이 작용하는 경우에도 그 구조물은 파괴되지 않아야 하는데 허용응력 설계법으로 설계하는 경우에는 이러한 경우에 대하여 소정의 안전율을 확보하고 있는 지를 평가하기가 곤란하므로 이를 보완하기 위하여 강도설계법으로 파괴에 대한 안전도를 검토하여야 한다.

2.5.1 허용응력

프리캐스트 프리스트레스트 부재의 설계는 일반적으로 35MPa의 콘크리트 강도(f_{ck})를 기초로 하고 있다. 그러나 기술자가 일관된 강도를 유지하고 있다고 판단하는 경우에는 콘크리트강도(f_{ck})를 42 MPa 까지 증가시키는 것이 허용된다. 더 높은 강도의 콘크리트가 특정 구역에 사용될 수도 있으나, 이 경우 책임기술자는 재료와 제작과정에 대한 감독을 완벽하게 하여 요구된 강도를 얻도록 하여야 한다. PS강재 및 콘크리트의 허용응력은 「KR C-10050의 3.7항」규정을 따라야 하며 그 밖의 일반적인 사항은 「KR C-10030」의 규정을 따라야 한다. 여기서 PS강재에 대한

여는 콘크리트와 달리 그 허용인장응력을 일시적인 것과 장기적인 것으로 구분하고 있지 않은데 그 이유는 프리스트레스 도입 직후 초기 PS강재 응력이 구조물을 사용한 후에도 상당한 기간 지속되기 때문이다. 프리스트레스 손실로 인한 PS강재의 응력의 지속적인 감소는 PS강재의 상태를 개선해주기 때문에 일반적으로는 별도의 응력검토는 필요 없으나 콘크리트에 균열이 발생하는 경우에는 PS강재에 응력이 급격히 증가할 수가 있으므로 주의를 할 필요가 있다. 콘크리트의 허용응력을 제한하는 것은, 사용성 문제를 해결하기 위해서는 효과적이지만 구조 안전성을 확보하기 위한 강도를 확보하는 데는 충분하지 못하다. 따라서 설계기준의 다른 요구조건에 따라 강도를 검토하여야 한다.

2.5.2 하중계수 및 강도감소계수

초과 설계하중에 대한 파괴에 대한 안전도를 검사하는 경우에 적용하여야 할 강도 감소계수는 「KR C-10020 3항」의 규정을 따라야 하며 하중계수 등 그 밖의 일반적인 사항은 「KR C-08020 9항」의 규정을 따라야 한다.

2.6 프리스트레스의 손실

PSC U형 거더교 설계시 프리스트레스의 손실은 「KR C-10050의 3.6항」에서 제시하고 있는 방법 또는 사용된 재료의 특성을 실제로 반영할 수 있는 보다 더 정확하게 방법에 의하여 계산하여야 한다.

2.7 단면 설계

PSC U형 거더교의 휨에 대한 설계방법은 허용응력 설계법을 기본으로 하고 있으므로 사용하중 하에서의 콘크리트 및 PS강재의 응력을 구하여 각 경우에 대한 허용응력 보다 작도록 설계하며, 설계하중보다 큰 계수하중에 대하여는 구조물이 파괴가 발생하지 않도록 파괴에 대한 안전도를 검토하여야 한다. 또한 설계된 PSC U형 거더교가 취성파괴를 일으키지 않도록 철근 및 PS강재의 사용량에 대한 검토가 필요하다.

일반적으로 PSC 구조물의 전단 또는 비틀림에 의한 파괴는 휨파괴에 비하여 매우 취성적이다. 따라서 구조물의 휨파괴되기 전에 전단파괴가 먼저 발생하는 것은 바람직하지 못하다. 철도교설계기준에서는 전단 및 비틀림에 대한 설계는 휨설계에 적용하고 있는 허용응력 설계법 대신에 파괴에 대한 안전도 확보에 중점을 두어 강도설계법을 따르도록 하고 있다. 단면설계에 대한 세부검토는 「KR C-10050 6항」 및 「KR C-10070 해설 1」, 「KR C-10090 해설 1」에 따라 수행하여야 한다.



3. 설계흐름도

(1) 주설계 단계

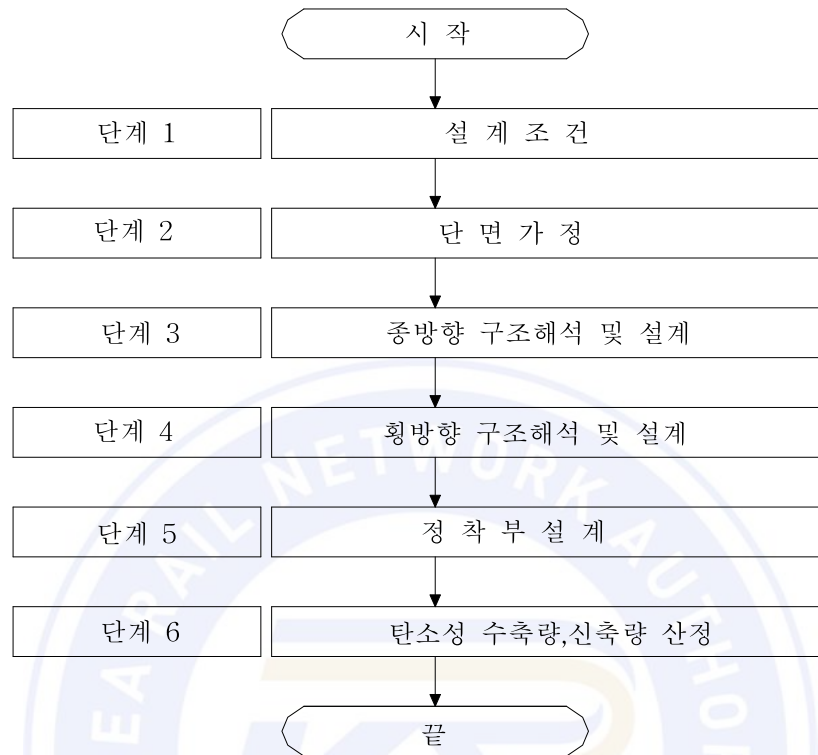


그림 17. 주설계 흐름도

(2) [단계1] 설계조건

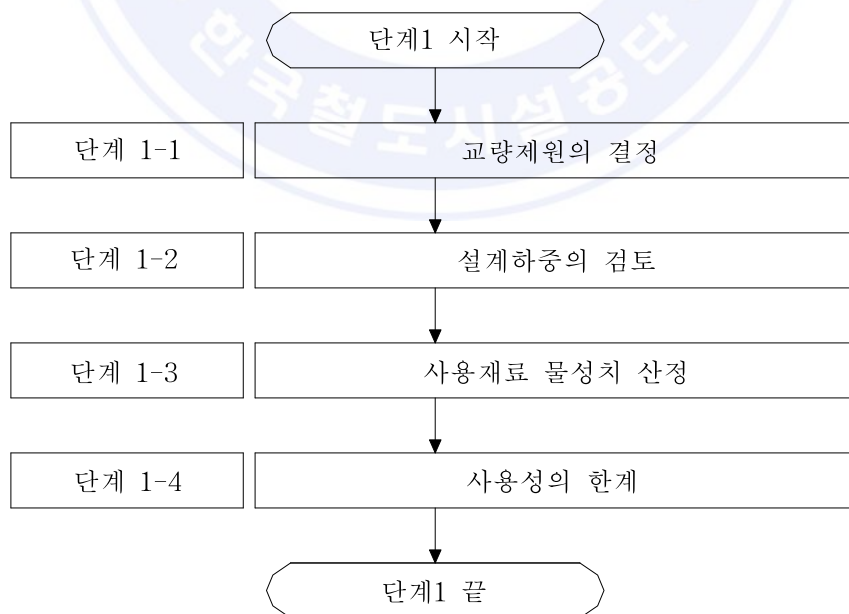


그림 18. 설계 조건

(3) [단계2] 단면가정

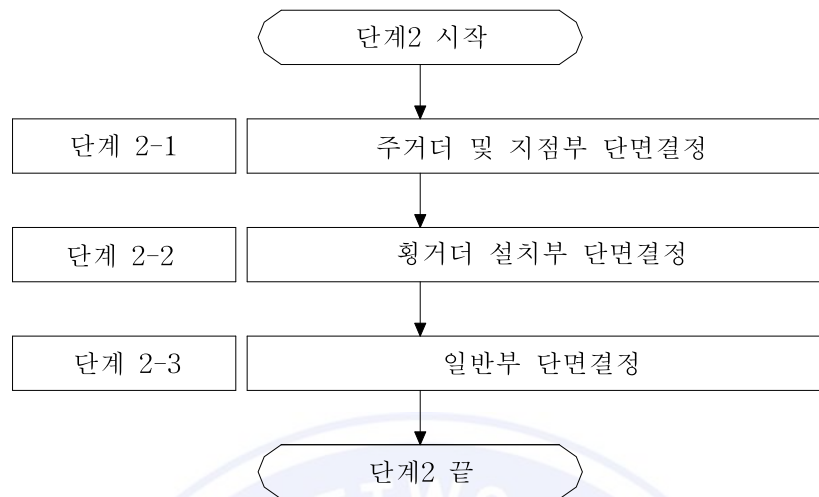


그림 19. 단면 가정



(4) [단계 3] 종방향 구조해석 및 설계

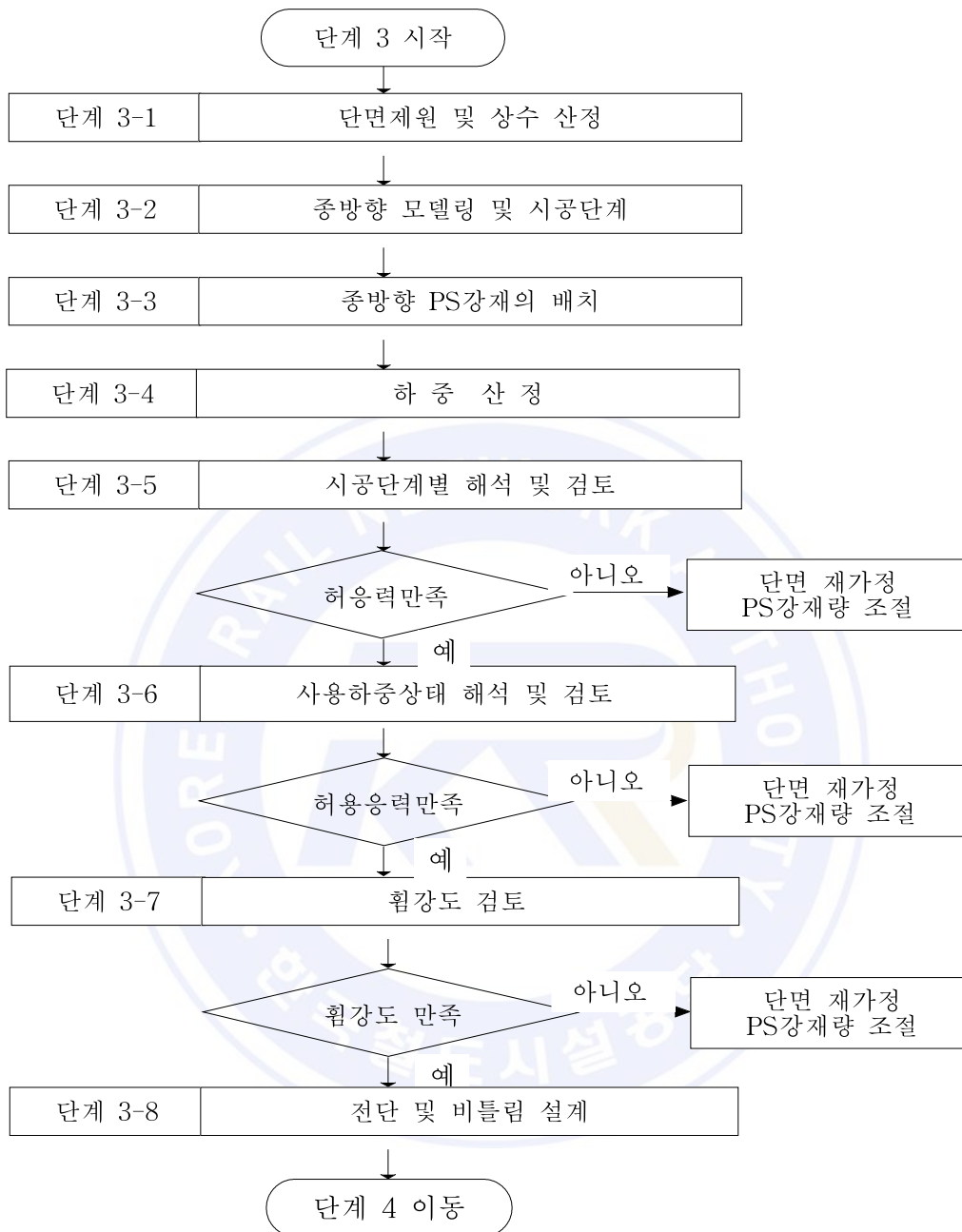


그림 20. 종방향 구조해석 및 설계

(5) [단계 4] 횡방향 구조해석 및 설계

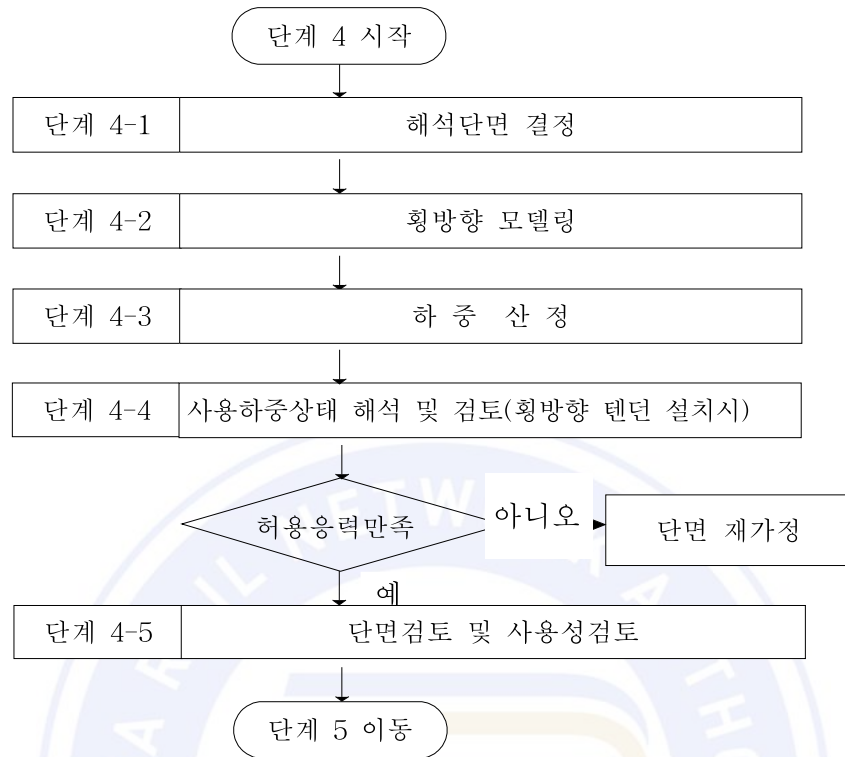


그림 21. 횡방향 구조해석 및 설계

(6) [단계 5] 정착부 설계

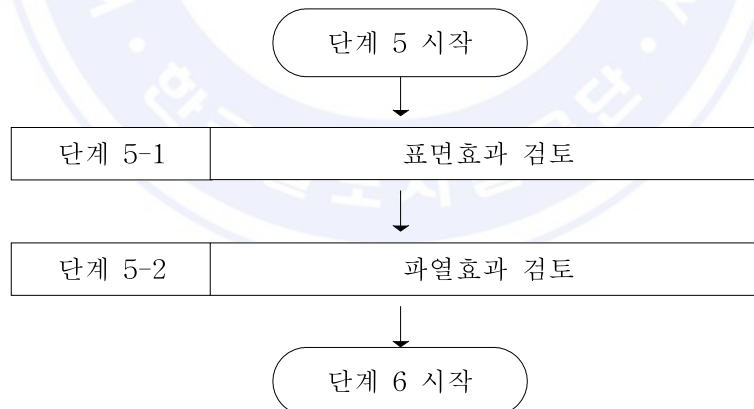


그림 22. 정착부 설계



(7) [단계 6] 지점반력 및 이동량 산정

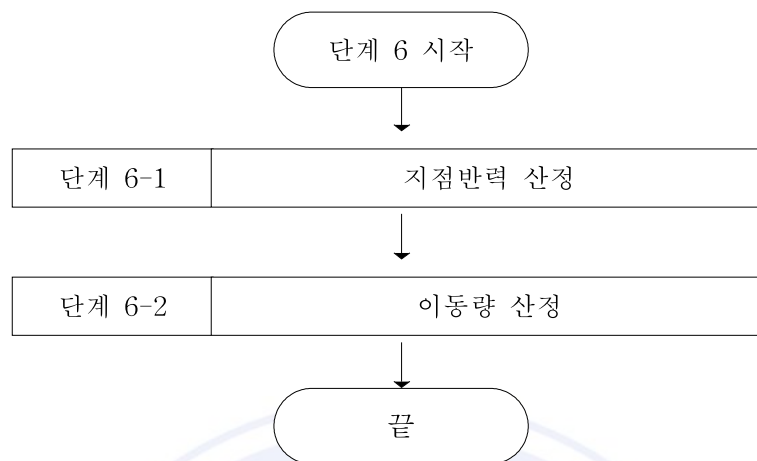


그림 23. 지점반력 및 이동량 산정



RECORD HISTORY

Rev.0('12.12.5) 철도설계기준 철도설계지침, 철도설계편람으로 나누어져 있는 기준 체계를 국제적인 방법인 항목별(코드별)체계로 개정하여 사용자가 손쉽게 이용하는데 목적을 둔.

